

جمعية المهندسين الملكية المصرية

« تأسست فى ٣ ديسمبر سنة ١٩٢٠ »

ومعتمدة بمرسوم ملكى بتاريخ ١١ دسمبر سنة ١٩٢٢

﴿ النشرة الثالثة للسنة الاولى ﴾

٣

محاضرة

الاعتاب المثلثية المقطع

لحضرة امام افندى شعبان

ألقيت بجمعية المهندين الملكية المصريه

فى ١١ فبراير سنة ١٩٢١

الجمعية ليست مسؤلة عما جاء بهذه الصحائف من البيان والآراء

تنشر الجمعية على اعضائها هذه الصحائف للنقد وكل نقد يرسل للجمعية يجب ان يكتب بوضوح وترفق به الرسومات اللازمة بالحبر الاسود (شيني) ويرسل برسمها صندوق البريد رقم ٧٥١ بمصر

الاعتاب المثلثية المقطع في الخرسانة المسلحه

(المباحث الفنية وأغراضها)

ان أول غرض يرمى اليه البحث الفنى هو النظر الى النتيجة التى وقف عندها السلف فى بحثه ثم التطلع الى مجرى الاحوال وجعل التعديل ملائماً لمقتضى الحال فتؤول نتيجة البحث مثلا الى تغيير معامل قديم أو استنباط قانون جديد أو الى الجمع بين قاعدتين متباعدتين وهكذا

وللبحث مزية اخرى غير هذا تجعلنا لا نركن فى ادارة أعمالنا الهندسية الى تطبيق النظريات الفنية الماضية وان كان لا يمكن الاستغناء عن بعضها بل يتسنى لنا أن ندير حركه الكون الفنية بما تصل اليه ابحاثنا الحالية بطرازها المستحدث فتكون ثمرة الاعمال المستخرجة جديدة فى نوعها

وليس كل امرىء بقادر أن يضمن لنفسه الاجادة ولكنه قادر أن يعمل فان انتهى الى بلوغ غايته القصوى فقد أكمل الواجب مشكوراً وان أبى عليه المنون ذلك فلا يذهبن آسفا على مافات من ثمرة مجهوده ولسوف يجد ممن يخلفه فى البحث شكراً أو ثناءاً لانه بما تركه من بحثه قد ذلل طريقا وعره وفتح بابا موصداً ومع ذلك فقد خلد الاثر لنفسه وان ترك الفائدة لغيره

وقد أشار حضرة الرئيس فى محاضرته الى أن الجمعيات الهندسية تغذى المعاهد باكتشافاتها العلمية ورجاؤنا جميعاً أن ينفذ ذلك فتكون مدرسة الهندسة مركزاً للابحاث الناتجة عن أعمال حضرات المهندسين

(البحث في الاعتاب المسلحة المثلثية المقطع)

قد قمت بعمل هذه المباحث سنة ١٩١٢ ، سنة ١٩١٣ بجامعة برمنجهام والغرض منها مقارنة هذا النوع نظريا وعمليا بأعتاب مستطيلة المقطع وأخرى شكل T والتحقق اذا كانت الاولى أقل حجما أو بعبارة أخرى أقل نفقة من الثانية عند ما تتساوى المقاومة

وهذا البحث لا يتعدى نسبة معينة من التسليح وابعاد محدوده

وأهم مزايا الخرصانة المسلحة هى :-

« ١ » سرعة انجاز العمل « ٢ » مقاومة الانشاءات التى من هذا القبيل للحريق كما شاهدتم فى محل شيكوريل اذ لوكان المحل من المبانى الحجرية أو الحديدية لانهدمت أجزاؤه ولكن الخرصانه تقى الحديد الحرارة « ٣ » فى الاحوال العادية تكاليف الانشاءات الاصلية ومصاريف الصيانة أقل من أى انشاء آخر معادل لها فى المتانة

« ٤ » يمكن عمل مبان ذات أدوار عديدة كالعمارات ذات الثلاثين دوراً التى تقرأ عنها فى الجرائد الامريكية من الخرصانة المسلحة لا يمكن عملها بأى طريقة أخرى

« ٥ » استعمالها فى المناجم كاعتاب والواح لسهولة نقلها وعدم

Design for wooden forms for 8' beams & columns of triangular section

Scale 1/2

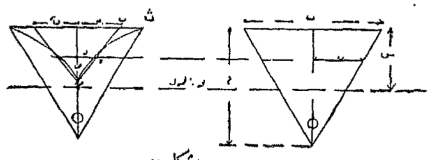
تصميم لقوالب خشبية لاعتاب واعمدة بطول ٨ أقدام وذات قطاع مثلث

مقياس الرسم ½

No	Number of pieces	Dimensions
1a	2	1½" × 8" × 6
1b	2	1½ × 9" × 6'
2	12	1 × 3½" × 17"
3	8	1" × 7" × 15"
4	16	1½ × 7" × 1'
5	4	1" × 10" × 15"
6	8	1½ × 1" × 10"
7	4	2" × 10" × 17"
8	3	1½" × 8" × 10"
9	12	1½" × 3" × 30"
10a	2	1½" × 8" × 8'
10b	2	1½ × 9" × 8'
bolts	8	⅝ diam 2' 6
tubes	8	6" - 2.5 - 1½" dia
tubes	16	1 long 1½" dia
16 nuts	16 no	⅝" screw diam
16 washers	16 no	⅛" thick 1½" dia
bolts	12	⅜" diam 1½ long

الخوف من النار التى تشب
من حوادث الانفجار
«٦» لا . كل الصلب
من الصدألان، . مادة تقيه
«٧» استعمالها في أعمال
المجارى والسكك الحديدية
والكبارى والاساسات فى
الاراضى الرملية والطينية
الرخوة والمواسير وعمل
الحواجز فى القناطر
والذى حدا بى الى التفكير
فى هذا النوع من الاعتاب
أنه فى أى عتب يتحمل
الجزء الاعلى من محور الخمول
الضغط ويتحمل الاسفل منه
الشد وان الخرصانة فى
الاسفل من محور الخمول
لا تساعد قضبان الصلب على
مقاومة الشد كما ترى من
الحساب الاتى

لنعتبر أن الخرسانه تعمل مع الصلب فى تحمل الشد ففى هذه الحالة نعتبر العتب كأنه عتب اعتيادى استبدل فيه التسليح بمقدار من الخرسان يبعد بمسافة ثابتة عن محور الخمول



شكل ١١

فاذا فرض انه ب' = اكبر جهد للشد فى الخرسانة

و ن' = « « للضغط فى الخرسانة

و ب = « « للشد فى الصلب

و ن = « « للضغط فى الصلب

و ا' = مساحة الصلب

و ا' = « الخرسانة فوق محور الخمول

وحيث ان الخرسانه اعتبرت مشتركة مع الصلب فى تحمل الشد فيجب ان يكون تحريفهما واحدولنفرض أن ى معامل المرونه للصلب

و ىَ معامل المرونة للخرسانه

و ى/ىَ = ن

فمن شكل ٧ حيث أن التحريف متساو فى الصلب والخرسانة ينتج ان

ب : بَ = ى : ىَ

و ∴ ب = بَ × ن و ∴ مساحة التسليح (الصلب)

(ا) تستبدل بمساحة مقدارها ن ا من الخرسانة وعلى ذلك تكون المساحة المكافئة للقطاع هى

$$\frac{\text{ب ع}}{٢} - \text{ا} + \text{ن ا} = \frac{\text{ب ع}}{٢} + \text{ا}\,(\text{ن} - ١)$$

ولا يجاد محور الحمول نأخذ العزوم حول اب ينتج أن

$$\text{س} = \frac{\frac{\text{ب ع}}{٢} \times \frac{\text{ع}}{٣} + (\text{ن} - ١) \times \text{و}}{\frac{\text{ب د}}{٢} + (\text{ن} - ١)\,\text{ا}} \qquad (٢)$$

ولايجاد عزم القصور حول محور الحمول مع اهمال عزم قصور المساحة $(\text{ن} - ١)\,\text{ا}$ حول محورها يكون

$$\text{عق} = \frac{\text{ب} \times \text{ع}^{٣}}{٣٦} + \frac{\text{ب} \times \text{ع}}{٢}\left(\text{س} - \frac{\text{ع}}{٣}\right)^{٢} + (\text{ن} - ١)\,\text{ا}\,\text{ص}^{٢} \qquad (٣)$$

فلو استعملنا ذلك لبعض الكمرات لوجدنا قوة الكمره التى داخلها قضيب قطره ٩ر٥ ملليمتر موضوع على بعد ٧٩٩ر٠٥ ملليمتر من القاع

$\text{ن} = \frac{\text{ى}}{\text{ى}} = ١٥$ ، $\text{ب} = ٢٠٣ر٢٢$ ، $\text{ع} = ١٧٧ر٠٨$ ملليمتر

ومن معادلة (٢) نجد أن

$$\text{س} = \frac{\frac{٢٠ر٣ \times (١٧ر٨)^{٢}}{٦} + ١٤ \times ٠ر٧١ \times ١٢ر٧}{\frac{٢٠ر٣ \times ١٧ر٨}{٢} + ١٤ \times ٠ر٧١}$$

$= ٦ر٣٥$ سنتيمترا

، من شكل (٦) $\text{ص} = ٦ر٣٥$ سنتيمترا

، من المعادلة (٣) نجد أن

$$\text{عق} = \frac{٢٠ر٣ \times (١٧ر٨)^{٢}}{٣٦} + \frac{٢٠ر٣ \times ١٧ر٨}{٢}\left(٦ر٣٥ - \frac{١٧ر٨}{٣}\right)^{٢} + ١٤ \times ٠ر٧١ \times (٦ر٣٥)^{٢} = ٣٦٠٠\ \text{سم}^{٤}$$

ω عم التى تحدث فى الكمرة شرخاً أو كسراً بالشد $= \frac{ف_1 \times عق}{ص}$ ومنه

ف١ = القوة النهائية التى تحملها الخرسانة فى الشد = ١٠ر٥٤ كيلوجرام على السنتيمتر المربع

$$ω\,عم = \frac{١٠ر٥ \times ٣٦٠٠}{١١ر٤} = ٣٣٢٠$$ كيلو جراما سنتيمتراً

$$والحمل\ القاطع = \frac{٣٣٢٠ \times ٤}{٢١٣ر٣٦} = و٣٦$$ كيلو جراما

وبنفس الطريقة وجدت العزوم والمقادير الاخرى المبينة بالجدول نمرة (١) لاعتاب مختلفة وفى الجدول الاتى نجد عزم المقاومة النظرى المسبب للكسر مع عزم المقاومة الحقيقى

وهذه الكمرات قد صنعت من خرسانة بنسبة ١:٢:٥ محتوياتها مبللة وأختبرت بعد مضى شهرين على فتحة مقدارها ٢١٣ر٣٦ سنتيمترا [عزم المقاومة من تأثير وزن الكمرة = ٢٥٠٠ كيلوجرام سنتيمتراً لان الكمرات تزن ١٣٦ كيلوجراما]

كمرات ذات مقطع مثلثى ٢٠ر٣ × ٢٠ر٣ × ٢٠ر٣ سنتيمترا مصنوعة من خرسانة بنسبة ١ : ٢ : ٥ اختبرت بعد مضى شهرين على فتحة مقدارها ٢١٣ر٣٦ سنتيمترا ومحملة بحمل مركزى (اى فى المنتصف)]

جدول نمرة «١»

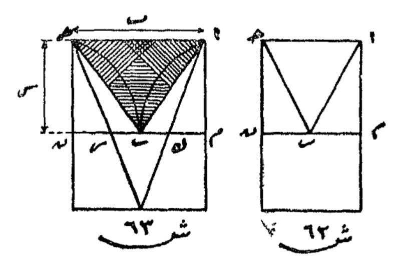
نمرة الكمرة	قطر التسليح	بعد التسليح من اعلى بالمليمتر	عزم المقاومة النظرى التشقق بالكيلوجرام سنتيمترا	عزم المقاومة الحقيقى عند الكسر الاول بالكيلوجرام سنتيمترا	عزم المقاومة الذى كسرت الكمرة عنده بالكيلو جرام سنتيمتراً
١	قضيب قطره ٤ر٢٥ مم	٤ر٥٨ مم	٢٨٣٠	٣٠٦٠٠	٤٦٠٠٠
٢	« « «	« «	٢٨٣٠	٤٢٦٠٠	٤٨٠٠٠
٣	« « «	« «	٢٨٣٠	١٥١٠٠	٥٠٠٠٠
٤	« « ٩ر٥ مم	١٢٧ر٠٠ «	٣٣٤٠	٢٩٩٠٠	٣٦١٠٠
٥	« « «	١٢٧ر٠٠ «	٣٣٤٠	١٨١٠٠	١٨١٠٠
٦	« ١٤ر١٩ «	١٢٧ر٠٠ «	٣٨٧٠	٦٠٥٠٠	٦٥٥٠٠
٧	« « «	١٢٧ر٠٠ «	٣٨٧٠	٥٩٨٠٠	٧٣٠٠٠
٨	« ١٩ر٠٥ «	١٢٧ر٠٠ «	٤٦٥٠	٥١٠٠٠	٧٣٠٠٠
٩	« « «	١٢٧ر٠٠ «	٤٦٥٠	٧٥٠٠٠	٩٤٢٠٠
١٠	« « ١٢ر٧ «	١٢٧ر٠٠ «	٣٦٨٠	٥١٣٠٠	٥١١٠٠
١١	« « «	١٢٧ر٠٠ «	٣٦٨٠	٤٣٠٠٠	٥٤٨٠٠

وترى من الجدول أن

أولا — المقاومة الحقيقية تبلغ ١٥ مرة المقاومة المحسوبة وهذا يدل على ان نظرية اشراك الخرسان مع الصلب فى تحمل الشد ليست بصحيحة

وفى الحقيقة يمكننا أن نجعل الخرسان تنشق من اسفل ونرى من الخانة الاخيرة من الجدول نمرة (١) ان الاعتاب انكسرت بعزم مقداره مرة ونصف العزم عند اول شرخ وفى الحقيقة ان الشروخ التى تحصل فى الاول لا تضر العتب اذ كلما انقصنا من الخرسانه تحت محور المحول كلما كان أوفر وظاهر ذلك من الشكل باتخاذ الاعتاب المثلثة المقطع

ثانياً — الالياف فى الجزء الاعلى من محور المحول معرضة للضغط ويختلف الضغط من صفر عند محور المحول الى النهاية العظمى فى أعلى الكمره



ويمكن استبدال المستطيل ا م ن هـ بمثلث ا ب هـ موزعا عليه الضغط بانتظام وهذا الضغط يساوى أقصى ضغط ويسمى المثلث ا ب هـ بالمساحة المكافئة

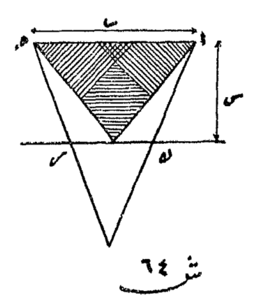
ومساحة هذا المثلث المكافىء تساوى $\frac{\text{س} \times \text{ب}}{٢}$ ∴ مساحة الجزء الخامل والذى يمكن الاستغناء عنه $= \frac{\text{س} \times \text{ب}}{٢}$

أى ان نسبة الجزء الخامل فى المساحة الى المستطيل ا م ن حـ $= ٥٠ \%$

اما المساحة المكافئة فى الاعتاب المثلثة المقطع فهى الشكل المظلل ومساحته كما سأبينها فيما يأتى هى $\frac{\text{ب} \times \text{س}}{\text{ع}} \left(\frac{\text{ع}}{٢} - \frac{\text{س}}{٦} \right)$

ومساحة الجزء الخامل هى الفرق بين مساحة الشكل ا ك ر حـ والمساحة المظللة

$$\text{مساحة ا ك ر حـ} = \frac{\text{ع} \times \text{ب}}{٢} - \frac{(\text{ع} - \text{س})^{٢}}{\text{ع}} \times \frac{\text{ب}}{٢} =$$



ش ٦٤

$$= \frac{\text{ع}^{٢}\text{ب} - \text{ع}^{٢}\text{ب} - \text{س}^{٢}\text{ب} + ٢\,\text{ع}\,\text{س}\,\text{ب}}{٢} = \frac{٢\,\text{ع}\,\text{س}\,\text{ب} - \text{س}^{٢}\text{ب}}{٢\,\text{ع}} = \frac{\text{س}\,\text{ب} \times ٢\,\text{ع} - \text{س} \times ١}{٢\,\text{ع}}$$

ومساحة الجزء الخامل $= \frac{\text{س}\,\text{ب}\,(٢\,\text{ع} - \text{س})}{٢\,\text{ع}} - \frac{\text{ب}\,\text{ك}}{\text{ع}} \left(\frac{\text{ع}}{٢} - \frac{\text{ك}}{٦} \right) = \frac{\text{ب}\,\text{ك}}{٦\,\text{ع}} (٣\,\text{ع} - \text{ك})$

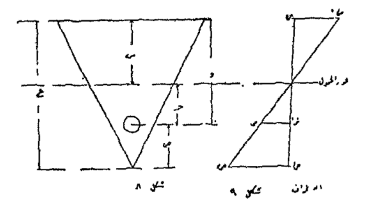
$$\frac{٣\,\text{س}\,\text{ب}\;٢\,\text{ع} - \text{س} - \text{ب}\,\text{ك}\;٣\,\text{ع} - \text{ك}}{٦\,\text{ع}} = \frac{٦\,\text{س}\,\text{ب}\,\text{ع} - ٣\,\text{س}^{٢}\text{ب} - ٣\,\text{ب}\,\text{ك}\,\text{ع} + \text{ب}\,\text{س}^{٢}}{٦\,\text{ع}} =$$

$\frac{٣ س ع - ٢ س^٢}{٦ ع}$ فتكون نسبة مساحة الجزء الخامل الى الشكل ا ك ر خ

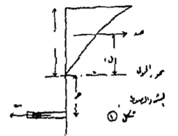
$= \frac{٣ ع - ٢ س}{٦ ع - ٣ س} = \frac{١}{٢} - \frac{١ × س}{١٢ ع} - \frac{١ × ٢}{٢٤ ع^٢} - \frac{١ × س^٢}{٤٨ ع^٢}$ وهكذ

$= \frac{١}{٢} - \left[\frac{س}{١٢ ع} + \frac{س^٢}{٢٤ ع^٢} + \frac{س^٢}{٤٨ ع^٢} \right]$ وهكذا الي مالانهاية

أى ان نسبة الفاقد أقل من ٥٠٪ بمقدار مجموع المتتالية الهندسية التى بين القوسين ومجموع هذه المتتالية يساوى $\frac{\frac{١}{١٢} \frac{س}{ع}}{١ - \frac{س}{٢ ع}}$



شكل ٨ شكل ٩



والجدول الآتى يبين نسبة $\frac{س}{ع}$ والنسبة المئينية للجزء الخامل فى مساحة الجزء الذى فوق محور الخمول فى الاعتاب التى عملتها

نمرة الكمرة	قطـر سيخ التسليح	نسبة $\frac{س}{ع}$	النسبة المئينيـة للجزء الحامل الى مساحة الجزء الذى فوق محور الخمول
١	٥ر٩م٠م	١٨١٥ر	٪ ٤٨
٢	٧ر١٢ «	٢٤٤ر	٪ ٦٨ر٤٧
٣	٠٥ر١٩	٣٢٢ر	٪ ٧٩ر٤٦
٤	٢٩ر١٤	٢٥٧ر٠	٪ ٥٨ر٤٧

وتستنتج من هذا الجدول أنه كلما زاد مقدار التسليح كلما قلت النسبة المئنية للجزء الحامل الى مساحة الجزء الذى فوق محور الخمول

وتستنتج ايضا ان هذه النسبة أقل من النسبة فى حالة الاعتاب المستطيلة المقطع أى ان هنالك وفر باتخاذ الاعتاب المثلثية المقطع

والآن نبدأ بايجاد مقاومة الاعتاب المثلثية المقطع

نفرض ان الخرسانة لا تأخذ نصيبا من الشد وان المقطع يكون مستويا قبل و بعد الانثناء وان الخرسانه تنقل التأثير الى الصلب شكل (٨)

ونفرض ف$_١$ اقصى قوة للشد فى الخرسانة

و ن$_١$ « « للضغط «

و ف « « للشد « «

و ن « « للضغط «

ومن الشكل نمرة ٩

$$\frac{س}{ص} = \frac{س س_١}{ر ر_١} = \frac{\text{اقصى نقصان فى الخرسانة}}{\text{اقصى امتداد فى الصلب}}$$

نفرض ان $\frac{ى}{ى^{'}} = ن$ نسبة معامل المرونة للصلب الى معامل المرونة للخرسانة ∴ $\frac{س}{ح} = ن \times \frac{ب}{ق}$

$$∴ س = ح\,ن \times \frac{ب}{ق^{١}} \quad (١)$$

$$∵ س = و - ح$$

$$∴ و - ح = ح\,ن \times \frac{ب}{ق^{١}} \quad \text{من المعادلة } (١)$$

$$∴ و = ح \left(١ + ن \frac{ب}{ق^{١}}\right)$$

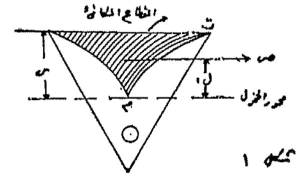
$$∴ ح = \frac{و}{١ + ن \times \frac{ب}{ق^{١}}}$$

ومن الشكل نمرة ١٠

ش = الشد الكلى و ض = الضغط الكلى

ش = ف × ا

ا = مساحة التسليح



شكل ١

حساب الضغط الكلى فى الخرسانه

ننشىء القطاع المكافىء أو المساحة المكافئة فالمساحة المظللة تمثل المساحة المكافئة فى شكل (١)

ولايجاد المعادلة المنحنى م ا ب من شكل (١١)

$$\frac{\text{ل}}{\text{ص}} = \frac{\text{ب}}{\text{س}} \quad \cdots\cdots \quad (٤)$$

ومن الشكل (١١) أيضاً

$$\frac{\text{ب}}{\frac{\text{ب}}{٢}} = \frac{\text{ع}\ \text{س} - \text{ص}'}{\text{ع}} = \frac{\text{ع} - \text{س} + \text{ص}}{\text{ع}} \quad \cdots\cdots \quad (٥)$$

$$\therefore \quad \text{ت} = \frac{\text{ب}}{٢} \times \frac{\text{ع} - \text{س} + \text{ص}}{\text{ع}}$$

ومن المعادلة (٤)

$\text{ل} = \frac{\text{ص}}{\text{س}} \times \frac{\text{ب}}{٢} \left(\frac{\text{ع} - \text{س} + \text{ص}}{\text{ع}}\right)$ التى هى معادلة من الدرجة الثانية

لايجاد الضغط الكلى : شكل ١٢ وشكل ١٣

نأخذ شقة صغيرة عرضها ٢ل وارتفاعها ءص ووحدة الضغط عليها $\text{ف}_{١}$ فيكون الضغط على هذه الشقة $= ٢\,\text{ل} \times \text{ءص} \times \text{ف}_{١}$

و يكون الضغط الكلى ص = تكامل الضغط على الشقة

$$\text{ص} = \int ٢\text{ل}\ \text{ءص} \times \text{ف}_{١}$$

ثم نستبدل ل بالمقدار الذى سبق ايجاده

ش ١٤

$$ص = \int^{س} ٢ \, ب_١ \, \frac{ص}{س} \times \frac{ب}{٢} \left[\frac{ع - س + ص}{ع} \right] ء ص$$

$$= ٢ ب_١ \, تكا \, \frac{ص}{س} \times \frac{ب}{٢} \left(\frac{ع - س + ص}{ع} \right) ء ص$$

$$= \frac{ب_١ ب}{س ع} \, تكا \left(ص ع - ص س + ص^٢ \right) ء ص$$

$$ف_١ \frac{ب}{س ع} \left[\frac{ص^٢ ع}{٢} - \frac{ص^٢ س}{٢} + \frac{ص^٣}{٣} \right]$$

$$= \frac{ب_١ ل}{س ع} \left[\frac{س^٢ ع}{٢} - \frac{س^٣}{٢} + \frac{ع^٣}{٣} \right]$$

$$\therefore \; ص = \frac{ب_١ ل}{س ع} \left\{ \frac{س^٢ ع}{٢} + \frac{س^٣}{٦} \right\}$$

$$= \frac{ب_١ ل س}{ع} \left\{ \frac{ع}{٢} - \frac{س}{٦} \right\} \quad \ldots\ldots \quad (٦)$$

وبما ان الضغط الكلى فى الخرسانه = الشد الكلى فى الصلب

$$\therefore \; الشد \; ا \; ف = \frac{ب_١ \times س}{ع} \left\{ \frac{ع}{٢} - \frac{س}{٦} \right\}$$

$$\therefore \; \frac{ف}{ب_١} = \frac{س \left\{ \frac{ب}{٢} - \frac{س}{٦} \right\}}{١ \times ع}$$

ولكن من المعادلة (١)

$$\frac{ب}{ب} = \frac{س}{ح ن}$$

$$\frac{س}{ع ن} = \frac{س \left(\frac{ب}{٢} - \frac{س}{٦} \right)}{١ ع}$$

$$\therefore \; س = ح ن س \frac{١ ع}{\left(\frac{ب}{٢} - \frac{س}{٦} \right)}$$

$\therefore$ ب س^2 $\left(\frac{ع}{٢} - \frac{س}{٦}\right)$ = حـ ن × ا × ع

$\therefore$ حـ = و - س

$\therefore$ ب س^2 $\left(\frac{ع}{٢} - \frac{س}{٦}\right)$ = (و - س) ن × ا × ع

ب س^2 (٣ع - س) = ٦ (و - س) ن × ا × ع ... (٨)

وهذه معادلة من الدرجة الثالثة

ومنها يمكن تعين محور الحمول اذا علم لنا مساحة الصلب

ولايجاد مركز الضغط أو بعبارة أخرى لايجاد مركز الثقل للمساحة المكافئة

(المساحة المكافئة هى المساحة التى عليها الجهد موزع بانتظام ويساوى اقصى جهد على العتب)

نقول ص = $\frac{ن_1 \times ب \times س}{ع}\left[\frac{ع}{٢} - \frac{س}{٦}\right]$

لَ بعد مركز الضغط عن محور الحمول

$\therefore$ ص لَ = ٢ تكا$_1$ × $\frac{ص}{س}$ × $\frac{ب}{٢}$ { $\frac{ع - س + ص}{ع}$ } ص ء ص

أى العزم للضغط الكلى حول محور الخمول = تكامل العزوم بالنسبة للشقة

= $\frac{٢ ن_1 ب}{٢ س ع}$ تكا$_0^س$ ص^2 (ع - س + ص) ء ص

= $\frac{ن_1 ب}{س ع}\left[\frac{ص^3 ع}{٣} - \frac{ص^3 س}{٣} + \frac{ص^4}{٤}\right]^س$

$$= \frac{ب_١}{س ع} \left[\frac{س^٣ ع}{٣} - \frac{س^٤}{٣} + \frac{س^٤}{٤} \right]$$

$$= \frac{ب_١}{س ع} \left[\frac{س^٣ ع}{٣} - \frac{س^٤}{١٢} \right]$$

$$= \frac{ب_١ س^٢}{ع} \left[\frac{ع}{٣} - \frac{س}{١٢} \right]$$

$$ل_١ = \frac{ب_١ س^٢}{ع ب_١ \times س} \left[\frac{\frac{ع}{٣} - \frac{س}{١٢}}{\frac{ع}{٢} - \frac{س}{٦}} \right]$$

$$= \frac{٤ \times ع - س}{٦ ع - س} \times س \quad \cdots\cdots \quad (٩)$$

ملحوظة : فى هذاالتكامل س مقدار ثابت

والآن نطبق هذه القوانين ونبحث عن مقاومة اعتاب مختلفة

منها كمرة ذات سيخ واحد قطره ١٢٫٧ م.م ويعده عن الحافة

السفلى ٥٠٠٫٧٩٩ م.م وباستعمال المعادلة (٨) ينتج

$∴$ ا = ١٫٢٧ سم^٢

٢٠٫٣ س^٢ (٥٣٫٤ — س) = ٦ (١٢٫٧ — س) × ١٥ ×

١٠٫٣٢ × ١٧٫٨س = ٤٣٫١ م م

ه = و — س — ٨٣٫٨٢ م.م

ومن المعادلة (٦) ص = $\frac{٢٤٫٦ \times ٢٠٫٣ \times ٤٣٫١}{١٧٫٨} \left(\frac{١٧٫٨}{٢} - \frac{٤٣٫١}{٦} \right)$

= ٩٩٧٫٩٠٤ كيلو جرام

نأخذ العزم حول مركز الشد فى الكمرة فينتج عندنا ان

عم = ٩٩٧٫٩٠٤ (لَ + ه)

$$ل' = \frac{٤ \times ١٧{,}٨ - ٤{,}٣١}{٦ \times ١٧{,}٨ - ٢ \times ٤{,}٣١} \times ٤{,}٣١ = ٢{,}٩٣٣٧ \text{ سم}$$

$$\therefore \text{ عم} = ٩٩٧{,}٩٠٤ \times (٢{,}٩٣٣٧ + ٨{,}٣٨٢) =$$

١١١٥٠ ك . سم

وحمل الامن في منتصف العتب $= \frac{١١١٥٠ \times ٤}{٢١٣{,}٣٦}$

= ٢١١٫٣٧٤ كيلو جرام

عزم المقاومة الذى يسبب كسر الخرسانة = ٥ × ١١١٥٠

= ٥٥٧٥٠ ك . س م

والحمل القاطع فى منتصف العتب = ١٠٥٦٫٨٦ ك . حـ

ثم نأخذ العزوم حول مركز الضغط فى الخرصانه فينتج

عم = ف ا (ل' + حـ)

ف = ٩٣٨ ك . حـ / سم^٢

عم = ٩٣٨ × ١٫٢٧ × ١١٫٣١٦ = ١٣٤٠٠ ك سم

وحمل الامن حينئذ = ٢٥١ ك . حـ

وعزم المقاومة الذى يسبب خضوع الصلب

$= \frac{١٩}{٦} \times ١٣٤٠٠ = ٤٢٤٠٠$ ك سم

ولانى وجدت الصلب الذى استعملته له حمل تسليم مقداره

٢٩٦٠٠ كيلو جرام على السنتيمتر المربع

والحمل القاطع فى هذه الحالة = ٧٩٥ ك . جرام

وعند حساب حمل الامن لابد وأن نعتبر الحمل ٢١١٫٣٧٤

ك . جرام وليس ٢١٥ ك . جرام

وعند حساب الحمل القاطع لابد وان نعتبر الحمل ٧٩٥ ك . جرام وليس ١٠٥٦ ك . جرام

أى أن العتب ينكسر بواسطة خضوع أو تسليم الصلب

وقد اثبتت التجربة ذلك

اذ نرى من الجدول نمرة ٢ : ان الحمل القاطع الحقيقى بخانة نمرة ٨ هو ٩٨٥ ك . جرام أى اقل من الحمل القاطع بالنسبة للخرسانه . وقد انكسر العتب فعلا بخضوع الصلب

الجدول الاتى يشتمل على المقاومة الحقيقية المحسوبة لكمرات مثلثة المقطع مسلحة بسيخ واحد على بعد ٧٩٩ر٠٥مم من الحافة السفلى والمخلوط كان بنسبة ١:٢:٥ المقابلة الى ٣ر١٦ ك جرام من الاسمنت الى ٠٠ر٣١ ك جرام من الرمل الى ٨٥ ك جرام من الحصى

« جدول نمرة ٢ »

نمرة الكمرة	قطر القضيب الصلب م م	مساحة التسليح س م٢	النسبة المئوية لمساحة التسليح ومساحة الخرسانة فوق الصلب ٪	موقع محور الحمول من اعلا الكمرة س	كل الامر المحسوب	مقاومة الكمر المحسوبة	مقاومة الكمر الحقيقية	احمال الصلب لاول تشقق
١	٩ر٥ مم	ر٧١	ر٤٣	٢ر٨٤١	١٤٦	٤٦٥	٦٧٥	٥٦٢
٢	٩ر٥	ر٧١	ر٤٣	٢ر٨٤١	١٤٦	٤٦٥	٣٤٠	٣٤٠
٣	١٢ر٧	١ر٢٧	ر٧٦٥	٤ر٣٢	٢١١	٨٠٩	١٠٢٥	٥٣٥
٤	١٢ر٧	١ر٢٧	ر٧٦٥	٤ر٣٢	٢١١	٨٠٩	٩٨٥	٩٨٥
٥	١٤ر٢٩	١ر٦١	ر٩٧	٤ر٥٧	٢٢٠	٩٦٠	١٠٤٠	٦٥٧
٦	١٤ر٢٩	١ر٦١	ر٩٧	٤ر٥٧	٢٢٠	٩٦٠	١٦٨٠	١٦٨٠
٧	١٩ر٠٥	٢ر٩٠	١ر٧٢٥	٥ر٧١	٢٦٧	١٣٦٠	٢٠٤٠	٩٤٠
٨	١٩ر٠٥	٢ر٩٠	١ر٧٢٥	٥ر٧١	٢٦٧	١٣٦٠	١٧٧٠	١٤٠٥

وبلل الخرصان ثم قلب ثلاث مرات قبل البل وبعده . وبعد مضى شهرين اجربت التجارب على الكمرات بوضع حمل على منتصف مسافة قدرها ٢١٣٫٣٦ س.م.

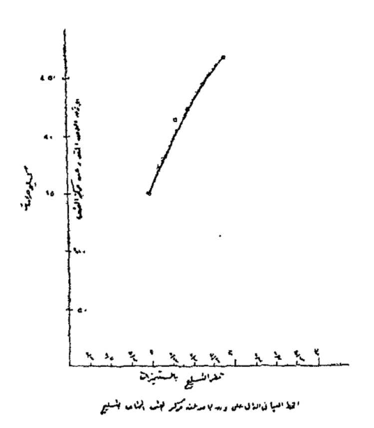
الكمرة نمرة ٢ حملت فجائيا ولذلك لاعبرة للعدد ٣٤٠ لان الحمل الذى بوضع بالتدريج = نصف الحمل الفجائى

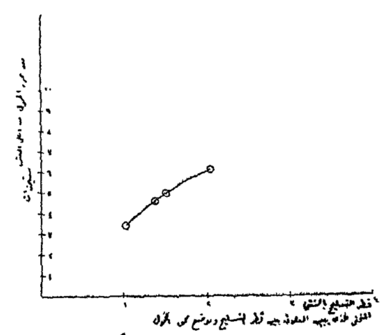
نلاحظ فى هذا الجدول ان فى بعض الاعتاب الحمل المأمون اكبر من الحمل المسبب لاول شق ومع ذلك لاخوف من استعمال هذا الحمل المأمون لان الشقوق الاولى فى اسفل الكمرة لاتؤثر بالمرة ولا خوف منها

ومن الجدول الآتى نرى ان الاعتبار الاول وهو نظرية اشتراك الخرصان مع الصلب فى الشد غير حقيقيه لان الحمل القاطع النظرى يقرب للحقيقى فى الاعتبار الثانى عن الاول

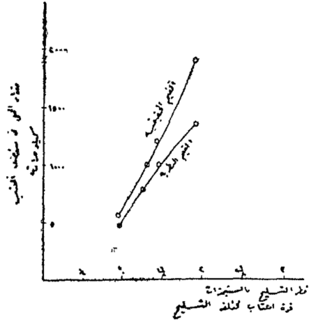
« مقارنة »

نمرة الكمرة	قطر القضيب المساح	الحمل القاطع	الحمل القاطع	الحمل الحقيقى
	مم	الاعتبار الاول كج	الاعتبار الثانى كج	كج
١	٩٫٥	٦٣	٤٦٥	٦٧٥
٢	٩٫٥	٦٣	٤٦٥	٣٤٠
٣	١٢٫٧	٦٨٫٥	٨٠٩	١٠٢٥
٤	١٢٫٧	٦٨٫٥	٨٠٩	٩٨٥
٥	١٤٫٢٩	٧٢٫٥	٩٦٠	١٠٤٠
٦	١٤٫٢٩	٧٢٫٥	٩٦٠	١٦٨٠
٧	١٩٫٠٥	٨٧٫٢	١٣٦٠	٢٠٤٠
٨	١٩٫٠٥	٨٧٫٢	١٣٦٠	١٧٧٠





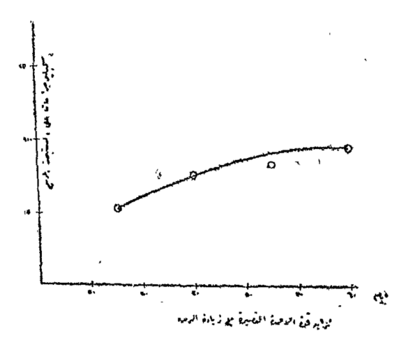
وعملت تجارب على اعتاب لايجاد التأثير الناتج من اختلاف موضع الصلب والجدول الاتى نمرة٣ مبين به بعد التسليح من السطح الاعلى الكمرة لمنتصف الصلب وحمل الامن المحسوب وايضا الحمل القاطع الحقيقى وذلك باستعمال القوانين السابقة



هذا وان الكمرات كانت من الخرصان المرطب المخلوط بنسبة ١ : ٢ : ٥ وعملت عليها التجارب بعد شهرين بتأثير احمال وضعت فى منتصفاتها وكان طول الكمرات ٢١٣ر٣٦ سم ومقطعها مثلث متساوى الاضلاع طول ضلعه ٢٠ر٣ سم

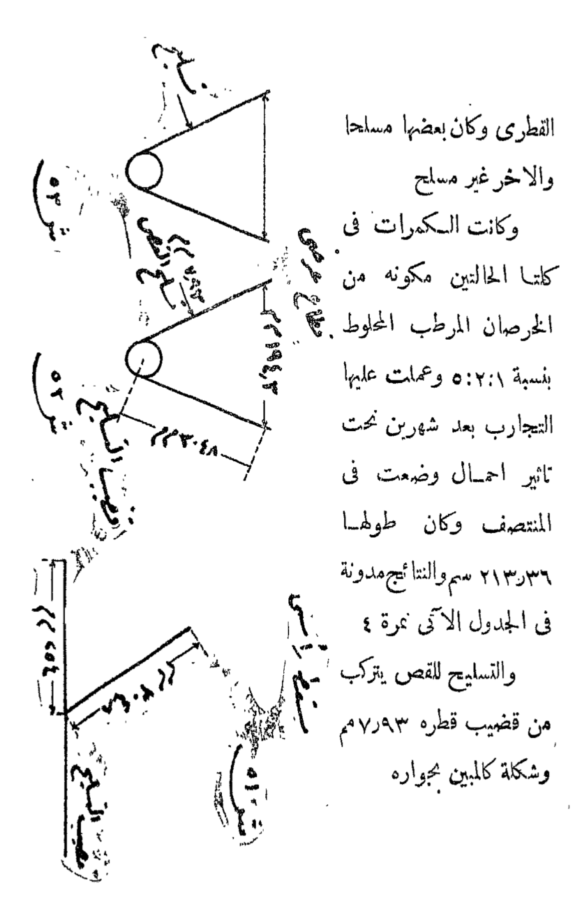
« جدول نمرة ٣ »

رقم الكمرة	مكان او بعد التساليح من السطح الاسفل	العمق المؤثر	[illegible] كج	[illegible] كج	[illegible] كج	الحمل الناطم الحقيقي كج	
							المتوسط
١	٥٠ر٧٩٩ سم	١٢٧	١٤٧	٤٦٥	٥٦١	٦٧٥	٦٧٨
٢	٥٠ر٧٩٩	١٢٧	١٤٧	٤٦٥	٣٤٠	٣٤٠	
٣	٧٦ر١٩٩	١٠١ر٦	١١٨	٣٧٠	٤١٠	٥٩٠	٥٩٠
٤	٧٦ر١٩٩	١٠١ر٦	١١٨	٣٧٠	٤٠٠	٥٩٠	
٥	١١٤ر٣	٦٣ر٥	٧١ر٥	٢٧٣	٣٣٥	٤١٠	٤٤٦
٦	١١٤ر٣	٦٣ر٥	٧١ر٥	٢٧٣	٤٨٥	٤٨٥	



والخط البيانى يبين ان قوة الكمرة تتغير بتغير العمق المؤثر اى كلما كان التسليح اعمق كانت الكمرة أقوى والتجربه تثبت ذلك ايضا وكان للكمرة الثانية شرخ قبل التجربة ووضعنا الحمل فجأة ولذلك لم تكن قوتها هى الحقيقية لان تاثير الحمل الذى يوضع سريعا ضعف الذى يوضع ببطء وكان للصلب دائما حمل امن اكبر من حمل الخرصان ولما كانت كل الكمرات كسرت بتأثير خضوع الصلب وليس بتأثير الضغط على الخرصان نستنتج من ذلك أن ما اعتبارناه كمعامل للأمن لهذه الكمرات اكثر من الحقيقة وعليه فلو اعتبرنا معامل الامن ٣ يكون ذلك أقرب للحقيقة

وقد اخذنا عدد من الكمرات لنبين عليها تاثير تسليح القص



القطرى وكان بعضها مسلحا
والاخر غير مسلح

وكانت الكمرات فى
كلتا الحالتين مكونه من
الخرصان المرطب المخلوط
بنسبة ١:٢:٥ وعملت عليها
التجارب بعد شهرين تحت
تاثير احمال وضعت فى
المنتصف وكان طولها
٢١٣٫٣٦ سم والنتائج مدونة
فى الجدول الآتى نمرة ٤

والتسليح للقص يتركب
من قضيب قطره ٧٫٩٣مم
وشكلة كالمبين بجواره

« جدول نمرة ٤ »

ملاحظات	القوة الحقيقية للكمرة كج	الحمل عند اول شرخ كج	قطر قضب التسليح مم	نمرة الكمرة
بدون تسليح القص	٥٩٠	٤١٠	٩ر٥	١
» » »	٥٩٠	٣٩٧	٩و٥	٢
مسلحة	٦٧٥	٥٦٠	٩ر٥	٣
»	٧٠٠	٧٠٠	٩ر٥	٤
بدون تسليح	١٣٧٠	١٢٦٥	١٤ر٢٩	٥
» »	١٤٧٥	١٢٦٠	١٤ر٢٩	٦
مسلحة	١٠٤٠	١٥٥	١٤ر٢٩	٧
»	١٦٧٠	١٦٦٥	١٤ر٢٩	٨

متوسط قوة الكمرتين نمرة ١ و نمرة ٢ هو ٥٩٠ك جرام ومتوسط قوة الكمرتين نمرة ٣ و نمرة ٤ هو ٦٨٧ك جرام وهما مسلحتان ومن هذا نستنتج ان المسلحة للقص قوتها تزيد عن الغير مسلحة للقص بمقدار

٦٨٧ — ٥٩٠ = ٨٧ك جرام او $\frac{٩٧}{٥٩٠}$ × ١٠٠ = ١٧ ٪

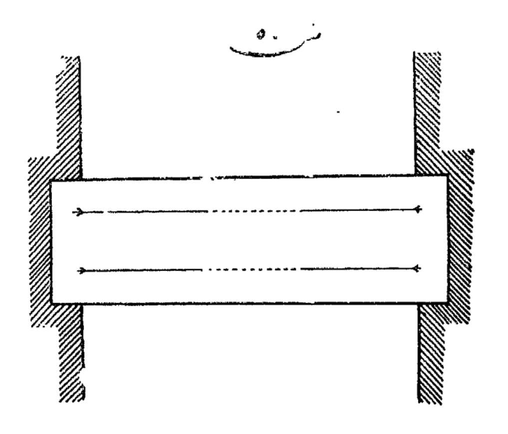
وكذلك متوسط قوه الكمرتين ٥ و ٦ هو ١٤٢٠ ك جرام وقد تبين لنا من التجربة ان قوة الكمرة نمرة ٧ حقيقية وذلك ناشيء من ان الحمل وضع عليها فجأة ولكن اذا قارنا متوسط قوة الكمرتين نمرة ٥ و ٦ وهو ١٤٢٠ك جرام لقوة الكمرة نمرة ٨ وهى ١٦٧٠ك جرام نستنتج ان التسليح للقص يزيد قوة الكمرة بمقدار ١٧٪ عن قوة الكمرة الغير مسلحة تسليحا للقص

وعملت اعتاب لايجاد تأثير التسليح من اعلى واسفل

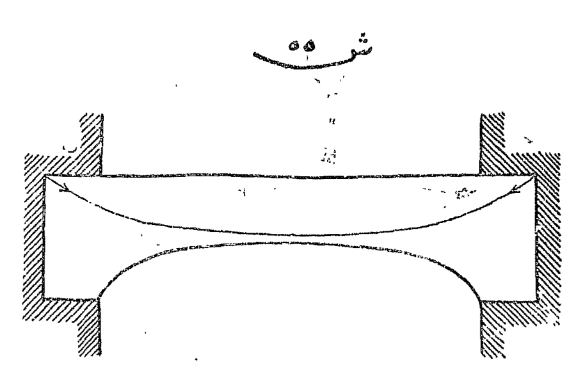
(الاعتاب ذوات المقطع الثلاثى المسلحة من اعلى واسفل)

نعم وان كان الخرصان فى حالة الضغط الا انه من المستحسن ان يكون هناك تسليح للشد والضغط فى العتب

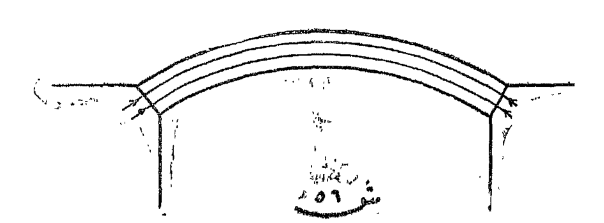
وفى الاعتاب المثبتة فى الطرفين يكون العزم فى النهاية فى اتجاه يخالف اتجاه العزم فى الوسط ولذلك يعمل التسليح كما الشكل فى المبين بعد :—



بشرط ان يكون التسليح فى النهاية بطول كافى ليساعد على التماسك ومع ذلك فى الغالب يعمل التسليح العلوى من اول العتب لاخره . وكذلك فى الكمرات المرتكزه على جملة نقط بوضع الصلب فى أعلى لياخذ الشد



ما في العقود المصنوعة من الخرصان فانها تسقط اما بحدوث شقوق في السطح الداخلى عند القمة او فى السطح الخارجى عند ساقى العقد وعلى ذلك فأحسن طريقة لتسليح العقد هو كما مبين بعد . ومع ذلك فارتفاع الحرارة يحدث شداً فى القمة فى السطح العلوى ولذلك عمل التسليح فى كل العقد



حساب مقاومه اعتاب مثلثيه المقطع مساحة فى اسفلها واعلاها فى السطح العلو عند القمه

الكمر ذو القطاع المثلثى المسلح فى اعلا واسفل التحاليل

الفروض : — (١) لا يوجد شد فى الخرصان . اما الصلب الذى فى اعلا الكمر يساعد الخرصان فى الضغط

(٢) الانحرافات الحادثة مفروض انها تتغير طردياً مع المسافة من محور الحمول باعتبار ان : ف = اكبر قوة للشد فى الصلب

ق = « « للضغط « «

ف' = « « للشد « الخرصان

ن_1 = « « للضغط « « وى معامل المرونة للصلب وى' معامل المرونه للخرصان

من الشكل ١٥ نستنتج ان $\dfrac{\text{الانحراف فى الخرصانه اعلا الكمره}}{\text{الانحراف في الصلب}}$

$$= \frac{\text{س} - \text{س}'}{\text{ح} - \text{ح}'} = \frac{\text{س}}{\text{ح}}$$

$$\frac{\text{ن}_1/\text{ى}_1}{\text{ن}/\text{ى}} = \frac{\text{س}}{\text{ح}} \qquad \frac{\text{ن}_1}{\text{ى}_1} = \frac{\text{ى}}{\text{ن}} \times \frac{\text{س}}{\text{ح}}$$

لنفرض ان $\dfrac{\text{ى}}{\text{ى}_1} = \text{م}$ $\therefore \text{س} = \text{ح}\,\text{م} \times \dfrac{\text{ن}_1}{\text{ن}}$ (١٦)

وكذلك $\dfrac{\text{ن}/\text{ى}}{\text{ن}_1/\text{ى}_1} = \dfrac{\text{س} - \text{ع}_1}{\text{س}}$

$$\therefore \frac{\text{ن}}{\text{م}\,\text{ن}_1} = \frac{\text{س} - \text{ع}_1}{\text{س}}$$

$$\therefore ن = ك ن_{1} \left[\frac{س - ع_{1}}{س} \right] \qquad (١٧)$$

وكذلك $\frac{ن}{ن} = \frac{س - ع_{1}}{حـ}$

$$\therefore ن = ف \left[\frac{س - ع_{1}}{حـ} \right]$$

ومن المعادله (١٦) نستنتج أن

$$ن = \frac{حـ ك \times ن_{1}}{س} \qquad (١٩)$$

$$و\ ن_{1} = \frac{س}{ع ك} \times ف \qquad (٢٠)$$

وبتساوى القوى الافقيه المؤثرة فى الكمرة نستنتج أن شكل (١٦)

باعتبار ه = نسبة مساحة الصلب فى حالة الشد الى مساحة المقطع العرضى

و $ه_{1}$ = نسبة مساحة الصلب فى حالة الضغط الى مساحة المقطع العرضى

و ا = مساحة الصلب فى حالة الشد

و $ا_{1}$ = مساحة الصلب فى حالة الضغط

$$ف \times ا = ا_{1} \times ن + ص \qquad (٢١)$$

$$و\ ص = \frac{ن_{1} \times ب \times س}{ع} \times \left(\frac{ع}{٢} - \frac{س}{٦} \right) \qquad (٢٢)$$

شكل ١٤ — شكل ١٥ — شكل ١٦ الشد والضغط

وفى هذه الحالة قد اهملنا طرح مساحة الصلب فى أعلى الكمرة من مساحة الخرسانة المضغوطة لانها صغيرة جدا .

$$\text{ا} = \text{ه}\,\frac{\text{ب} \times \text{ع}}{٢} \qquad (٢٣)$$

$$\text{ا}_{١} = \text{ه}\,\frac{\text{ب} \times \text{ع}}{٢} \qquad (٢٤)$$

وبوضع قيمة ص ، ا ، ا ـ فى المعادله (٢١) تستنتج ان

$$\text{ف} \times \text{ه}\,\frac{\text{ب} \times \text{ع}}{٢} = \text{ه}_{١}\,\frac{\text{ب}' \times \text{ع}}{٢} \times \text{ن} + \text{ن}_{١} \times \frac{\text{ب} \times \text{س}}{\text{ع}} \left(\frac{\text{ع}}{٢} \quad \frac{\text{س}}{٦}\right)$$

(٢٥)

$$\therefore \text{ه} = \text{ه}_{١} \times \frac{\text{ن}}{\text{ف}} + \frac{٢\,\text{ن}_{١}\,\text{س}}{\text{ف} \times \text{ع}\,٢} \left(\frac{\text{ع}}{٢} - \frac{\text{س}}{٦}\right)$$

$$= \frac{١}{\text{ف}} \left[\text{ه}_{١}\,\text{ن} + \frac{٢\,\text{ن}_{١}\,\text{س}}{\text{ع}} \left(\frac{\text{ع}}{٢} - \frac{\text{س}}{٦}\right) \right]$$

وباستبدال قيمة ن ١ ، ن من المعادلة (٢٠) ، (١٨) تكون

$$\text{ه} = \frac{١}{\text{ف}} \left[\text{ه}_{١}\,\text{ف}\,\frac{\text{س} \;\; \text{ع}_{١}}{\text{ح}} + \frac{٢\,\text{س}^{٢}\,\text{ف}}{\text{ع}^{٢}\,\text{ح}\,\text{ك}} \left(\frac{\text{ع}}{٢} - \frac{\text{س}}{٦}\right) \right]$$

$$= \left[\text{ه}_{١}\,\frac{\text{س} - \text{ع}_{١}}{\text{ح}} + \frac{٢\,\text{س}^{٢}}{\text{ع}^{٢}\,\text{ح}\,\text{ك}} \left(\frac{\text{ع}}{٢} - \frac{\text{س}}{٦}\right) \right]$$

$$(\text{س} = \text{و} - \text{ح} \;\text{أو}\; \text{ح} = \text{و} - \text{س})$$

$$\therefore \text{ه} = \left[\text{ه}_{١}\,\frac{\text{س} - \text{ع}_{١}}{\text{و} - \text{س}} \times \frac{٢\,\text{س}^{٢}}{\text{ع}^{٢}\,(\text{و} - \text{س})\,\text{ك}} \left(\frac{\text{ع}}{٢} - \frac{\text{س}}{٦}\right) \right] \quad \ldots\ldots (٢٦)$$

وبمعرفة ه و ه_1 يمكننا استخراج قيمة $\text{س}\text{ص}$ (٦)

وبذلك يمكن تعيين محور الخمول .

ثم يمكن كتابة المعادلة رقم (٢٦) كالآتى

$$\text{ن ه}\left(\text{ن}-\text{س}\right)\text{ع}^2 = \text{ه}_1\left(\text{س}-\text{ع}_1\right)\text{ع}^2\text{ن}+2\text{س}^2\left(\frac{\text{ع}}{2}-\frac{\text{س}}{6}\right)$$

وقد سبق أن بينا فى الجزء الاول إن (ل) وهو البعد بين مركز الضغط فى الخرصانه ومحور الخمول تساوى

$$\text{ل}_1 = \frac{4\text{ع}-\text{س}}{6\text{ع}-2\text{س}} \times \text{س}$$

فاذا اخذنا العزوم حول مركز الشد فى الصلب ينتج ان

$$\text{عزم المقاومة} = \frac{\text{ه}\bar{\text{ب}}\text{ع}}{2}\,\text{ن}\left(\text{ص}+\text{س}-\bar{\text{ع}}\right)+\text{ص}\left(\text{ص}+\bar{\text{ل}}\right)$$

$$= \frac{\text{ه}\,\text{ب}\,\text{ع}}{2}\,\text{ن}\left(\text{ص}+\text{س}-\bar{\text{ع}}\right)+\text{ق}_1\frac{\text{ب}\text{س}}{\text{ع}}\left(\frac{\text{ع}}{2}-\frac{\text{س}}{6}\right)\left(\bar{\text{ل}}+\text{ص}\right)$$

وبالاستبدال عن الكمية ق بالكمية ق_1 ينتج ان

$$\text{عزم المقاومة} = \frac{\text{ه}\,\text{ب}\,\text{ع}}{2}\left(\text{ص}+\text{س}-\bar{\text{ع}}\right)\text{ن}\,\text{ق}_1\left(\frac{\text{س}-\bar{\text{ع}}}{\text{س}}\right)+\text{ق}_1$$

$$\frac{\text{ب}\text{س}}{\text{ع}}\left(\frac{\text{ع}}{2}-\frac{\text{س}}{6}\right)\left(\bar{\text{ل}}+\text{ص}\right)$$

$$= \text{ق}_1\left[\frac{\bar{\text{ه}}\text{ب}\text{ع}}{2}\left(\text{ع}+\text{س}-\bar{\text{ع}}\right)\text{ن}\left(\frac{\text{س}-\bar{\text{ع}}}{\text{س}}\right)+\frac{\text{ب}\text{س}}{\text{ع}}\left(\frac{\text{ع}}{2}-\frac{\text{س}}{6}\right)\left(\text{ل}+\text{ع}\right)\right]$$

$$= \text{ق}_1\,\text{ب}\,\text{ع}^2\left[\bar{\text{ه}}\left\{\frac{1}{2\text{ع}}\left(\text{د}-\bar{\text{ع}}\right)\text{ن}\right\}\left(1-\frac{\bar{\text{ع}}}{\text{س}}\right)+\frac{\text{س}}{\text{ع}^2}\left(\frac{\text{ع}}{2}-\frac{\text{س}}{6}\right)\right.$$

$$\left.\left(\bar{\text{ل}}+\text{ص}\right)\right]$$

واذا اخذنا العزوم حول مركز الضغط فى الصلب ينتج

$$\text{عزم المقاومة} = \frac{\text{ب}\text{ع}}{2}\,\text{ه}\,\text{ف}\left(\text{د}\,\bar{\text{ع}}\right) - \text{ص}\left(\text{س}-\bar{\text{ل}}-\bar{\text{ع}}\right)$$

$$= \frac{\text{ب}\text{ع}}{2}\,\text{ه}\,\text{ف}\left(\text{د}-\bar{\text{ع}}\right) - \frac{\text{ق}\,\text{ب}\,\text{س}}{\text{ع}}\left(\frac{\text{ع}}{2}-\frac{\text{س}}{6}\right)\left(\text{س}-\bar{\text{ل}}-\bar{\text{ع}}\right)$$

$$= ف\, ب\, ع^{2} \left[هـ \frac{(و-ع')}{2\,ع} - \frac{س^{2}}{2\, حـ\, ن\, ع} \left(\frac{ع}{2} - \frac{س}{6}\right)(س - ل' - ع')\right]$$

$$= ف\, ب\, ع^{2} \left[هـ \frac{(و-ع')}{2\,ع} - \frac{س^{2}}{2\,(و-س)\,ن\,ع} \left(\frac{ع}{2} - \frac{س}{6}\right)(س - ل' - ع')\right] \quad (٢٩)$$

ثم نأخذ العزوم حول مركز الضغط فى الخرصانه ينتج

$$عزم\ المقاومة = \frac{هـ ب ع}{2} ن (ل' + حـ) + ق\, هـ' \frac{ب ع}{2} (س - ل' - ع')$$

وبالتعويض عن ن ينتج

$$عزم\ المقاومة = \frac{هـ ب ع}{2} \times (ل' + حـ) \frac{ن\, حـ}{س - ع'} + ن\, هـ' \frac{ب ع}{2} (س - ل - ع')$$

$$= ن\, ب\, ع^{2} \left\{ \frac{هـ (ل' + حـ)\, حـ}{2\,(س - ع')\,ع} + هـ' \frac{(س - ل' - ع')}{2\,ع} \right\} \quad (٣٠)$$

ولكن $حـ = و - س$

فتصير المعادلة (٣٠) كالآتى

$$عزم\ المقاومة = ن\, ب\, ع^{2} \left[\frac{هـ (ل' + و - س)(و - س)}{2\,(س - ع')\,ع} + \frac{هـ' (س - ل' - ع')}{2\,ع} \right] \quad (٣١)$$

ولنبدأ الان بعتب ذو قضيب من فئة ٠٥ر١٩مم عند ٧٩ر٥٠ مم من الاسفل وقضيب آخر من فئة ٠٥ر١٩مم عند ٤ر٢٥مم من اعلا العتب

$هـ = ٠١٥٨ر٠ \quad هـ' = ٠١٥٨ر٠$

أى اننا سنستعمل تسليح متساوى فى اعلا واسفل العتب

فاذا استعملنا المعادلة (٢٦) لتعيين محور الحمول ينتج

$$١٥ \,(١٢ر٧ - س)\,(١٧ر٧٨)^{٢}\, هـ =$$

$$هـ' \,(س - ٢ر٥٤)\,(١٧ر٧٨)^{٤} \times ١٢ + ٢\, س^{٢} \left(\frac{١٧ر٧٨}{٢} - \frac{س}{٦}\right)$$

س = ٤٥ر٧٢ مم

$$ل' = \frac{٤ \times ١٧ر٧٨ - ٤ر٥٧٥}{٦ \times ١٧ر٧٨ - ٢ \times ٤ر٥٧} \times ٤ر٥٧٢ = ١٥ر٣ \text{ سم}$$

والآن باستعمال المعادلة (٢٨) ينتج

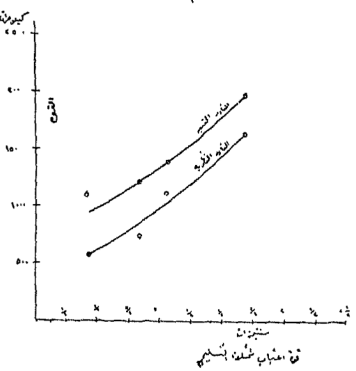
عزم المقاومة = ١٦٦٥٠ ك جرام سم

وعزم الانحناء المسبب لضغط الخرصانة = ٥ × ١٦٦٥ = ٨٣٢٥٠ ك جرام سم

وباستعمال المعادلة (٢٩) ينتج

عزم المقاومة = ٣٩٧٥٠ ك جرام سم

وعزم الانحناء المسبب لتسليم الصلب = ١٢٥٥٠٠ ك جرام سم



وباستعمال معادله (٣١) بعد ايجاد قيمة ن من المعادلة

$$ن = ﻫ ن \frac{س - ع}{س}$$

لان الصلب يعمل مع الخرسانة فى جزء الكمرة المستحمل للضغط وعليه يكون له نفس التحريف

وعليه من معادله (٣١) عم = ٤٤٦٠٠ ك س م

وعزم الانحناء المسبب للسقو ل = ٧٧٧٠٠ ك س م

ثم تأخذ كمرات اصغر عزم من العزوم ١٣٢٥٠٠ و ١٢٥٥٠٠٠ و ٧٧٧٠٠٠ والحمل القاطع $\frac{٦٧٢٠٠ \times ٤}{٨٤}$ = ٣٦٥٠ كيلو جراما

عملت كمرات من الخرسانة بنسبة ١ : ٢ : ٥ رخوه واختبرت بعد شهرين بحمل فى وسطها على طول ٢١٣٫٣٦ س م

وكانت الكمرات ذات قطاع مثلثى ٢٠٫٣ × ٢٠٫٣ × ٢٠٫٣ س م وطولها ٢٤٣٫٨ س م باطراف مستطيلة الشكل والنتائج مبينة فى جدول ٥

(جدول ٥)

نمرة الكمرة	قطر التسليح فى الاسفل	قطر التسليح فى الاعلى	التسليح فى المائة	الحمل القاطع المحسوب فى الوسط	موضع محور الحمول س	القوة القصاية للكمرة عند اول شرخ	الحمل الفعلى المسبب للكسر
١	٩ر٥ مم	٩ر٥ مم	٠ر٧٨٨ «	٥٦٠ كجرام	٣٢ر٣ مم	٥٧١ كج	٧٥٠ كجرام
٢	٩ر٥ «	٩ر٥ «	٠ر٧٨٨ «	٦٥٠ «	٣٢ر٣ «	٩٣٥	٩٣٥ «
٣	١٢ر٧ «	١٢ر٧ «	١ر٤٢ «	٧٢٨ «	٣٨ر١٠ «	١١١٥	١٢٢٠ «
٤	١٢ر٧ «	١٢ر٧ «	١ر٤٢ «	٧٢٨ «	٢٨ر١٠ «	١٠٢٠	١١٥٠ «
٥	١٤ر٢٩ «	١٤ر٢٩ «	١ر٧٨ «	١١١٥ «	٤١ر٢ «	١١١٥	١٤٢٠ «
٦	١٤ر٢٩ «	١٤ر٢٩ «	١ر٧٨ «	١١١٥ «	٤١ر٢ «	١٢٥٠	١٣٩٥ «
٧	١٩ر٠٥ «	١٩ر٠٥ «	٣ر١٦ «	١٦٦٠ «	٤٥ر٧ «	١٨٣٠	١٨٣٠ «
٨	١٩ر٠٥ «	١٩ر٠٥ «	٣ر١٦ «	١٦٦٠ «	٤٥ر٧ «	١٧١٠	٢٠٠٠ «

على الصفحة المقابلة ترى منحنيا يبين العلاقة بين مقدار التسليح والقوة ومنه ترى ان القيم الفعلية تزيد ٢٠ ٪ تقريبا عن القيم المحسوبة بينما الاحمال التى حصل عندها الشق الاول هى تقريبا نفس القوة المحسوبة للكمرة

(مقارنه بين الاعتاب)

(ا) الاعتاب المسلحة بأسفلها

(ب) الاعتاب المسلحة بأسفلها واعلاها

جدول (٦)

١ قطر التسليح السفلى	٢ قطر التسليح العلوى	٣ نسبة التسليح المئوية	٤ القوة الفعلية	٥ القوة المتوسطة	٦ زيادة القوة فى ا على ب	٧ نسبة الزيادة المئوية فى القوة
			ك جرام	ك جرام	ك جرام	
٩ر٥ مم	صفر مم	٣٨٩ر٠	٦٧٥	٦٧٧ر٥	ب	
٩ر٥ «	٠٠ «	٣٨٩	٦٨٠	٦٧٧ر٥		
٩ر٥ «	٩ر٥ «	٧٧٨	٧٤٧	٨٣٩	ا ١٦١ر٥	٢٣ر٧ ٪
٩ر٥ «	٩ر٥ «	٧٧٨	٩٣١			
١٢ر٧ «	صفر «	٧١	١٠٢٠	١٠٠٢ر٥	ب	
١٢ر٧ «	٠٠ «	٧١	٩٨٥			
١٢ر٧ «	١٢ر٧ «	١ر٤٢	١٢٢٠	١١٨٠	ا ١١٥ر٥	١٩ر٤ ٪
١٢ر٧ «	١٢ر٧ «	١ر٤٢	١١٤٠			
١٤ر٢٩ «	صفر «	٠ر٨٩	١٠٤٠	١٣٥٥	ب	
١٤ر٢٩ «	٠٠ «	٠ر٨٩	١٦٧٠			
١٤ر٢٩ «	١٤ر٢٩ «	١ر٧٨	١٤٢٠	١٢٥٥	ا صفر	صفر ٪
١٤ر٢٩ «	١٤ر٢٩ «	١ر٧٨	١٢٩٠			
١٩ر٠٥ «	صفر «	١ر٥٨	٢٠٤٠	١٩١٠	ب	
١٩ر٠٥ «	صفر «	١ر٥٨	١٧٨٠			
١٩ر٠٥ «	١٩ر٠٥ «	٣ر١٦	١٨٣٠	١٩٢٥	١٥	ر٣٥ ٪
١٩ر٠٥ «	١٩ر٠٥ «	٣ر١٦	٢٠٢٠			

و يلاحظ فى الخانة (٧) من الجدول (٦) ان الزيادة فى القوه برغم تضعيف التسليح هى ٢٣٩٧ ٪ ؟ ١٩٫٤ فى التسليح الخفيف وليس هناك أى زيادة فى التسليح ذى الحجم ٣٨٠٫٢٥ مم^2 كما ان الزياد فى الكمرات ذوات التسليح الثقيل هى ٠٫٣٥ ٪ فقط

ثم أجريت تجارب لايجاد تأثير وضع قضيب التسليح عند مركز ثقل القطاع

١ نمرة الكمرة	٢ قطر التسليح	٣ نسبة التسليح المعرض الى مساحة الخرسانة	٤ بعد محور الطول عن قمة الكمره	٥ قوة الكمره المحسوبة	٦ الحمل الفعلى عند اول التشقق	٧ الحمل الداعى للسقوط
١	٢٥٫٤ مم	٥٫٦٨	٣٩٫٦٢ مم	١٠٧٥	٥٧٢	٨٦٣
٢	٢٥٫٤ "	٥٫٦٨	٣٩٫٦٢ "	١٠٧٥	٨٠٠	١٢٨٠
٣	٢٥٫٤ "	٥٫٦٨	٣٩٫٦٢ "	١٠٧٥	٢٨٤	٩٤٠
٤	١٢٫٧ "	١٫٤٢	٢٥٫٦٥ "	٩٥٠	١٨٤	٣٩٠
٥	١٢٫٧ "	١٫٤٢	٢٥٫٦٥ "	٩٥٠	٢٠٤	٤١٨

كمرات موضع قضيب التسليح بها عند مركز ثقل قطاعها

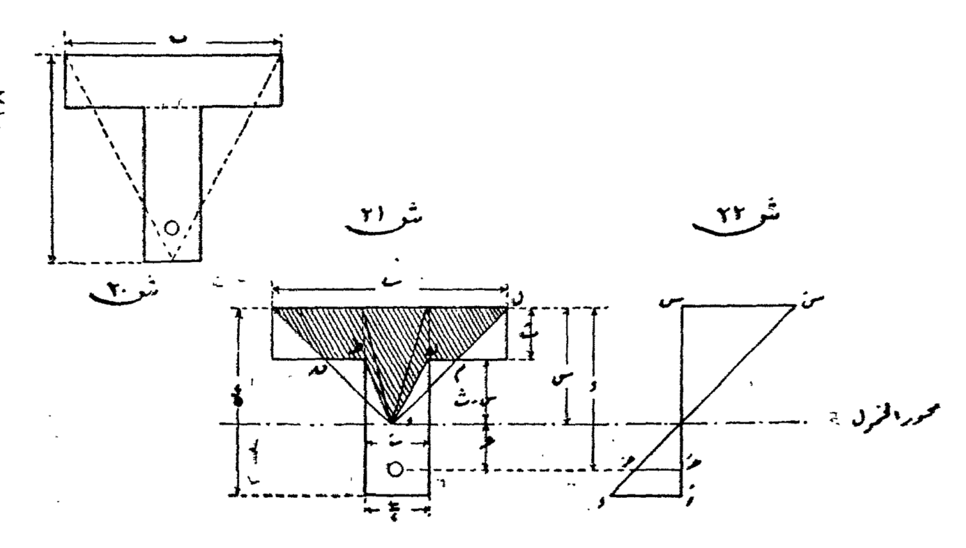
كانت الكمرات تعمل من ١ : ٢ : ٥ من الخرسانة الرخو ونختبر بعد مضى شهرين بالتحميل على منتصفها على طول قدره ٢١٣٫٣ سم ونلاحظ أن الثلاث كمرات الاؤلى تعطينا متوسطا قدره ١٠٢٨ كجرام بينا تعطينا الرابعة والخامسة متوسطا قدره ٤٠٤ كجرام

كما نلاحظ ايضاً أنه بالرغم ثقل تسليح كل من الثلاث كمرات الاولى يبلغ أربعة أمثال ثقل تسليح كل من الكمرتين الرابعة والخامسة نجد ان نسبة مقوه ليست ألا $\frac{١٠٢٨}{٤٠٤}$ = ٢ر٥ والسبب هو وضع قضيب التسليح عند مركز الثقل ليس من الصواب الا اذا استعملت الاعتاب كدرج السلم

﴿ المقارنة بين الكمرات المثلثية والكمرات ذات المقطع T ﴾

لقد شرحنا آنفا كيفية تحليل الكمرات المثلثية . والان نأتى على ذكر تحليل الكمرات ذات المقطع T فنقول

نعرض ان الكمرات كلها ذات عرض متساو من اعلاو نفرض أيضا ان عمق الكمرة T ؟ع = عمق الكمرة المثلثية المقطع ؟ ا = مساحة الصلب


ش ٢٠
ش ٢١
ش ٢٢
محور التعادل

مساحة الجزء المظلل ل م ك ى ط ن و : —

$$\frac{بس}{٢} - \left(\frac{س-ث}{س}\right)^{٢}\frac{ب}{٢} + \frac{س-ب}{٢} \times \frac{٥}{٢}$$

$$\frac{٢بس^{٢} - (س-ث)^{٢}\,٢ب + (س-ب)\,بس}{٤س}$$

$$\frac{ب}{٤س}\left[\,٢س^{٢} - ٢(س-ث)^{٢} + س^{٢} - سث\,\right]$$

$$\frac{ب}{٤س}\left(٣س^{٢} - سث - ٢س^{٢} + ٤سث - ٢ث^{٢}\right)$$

$$\frac{ب}{٤س}\left(س^{٢} + سث - ٢ث^{٢}\right)$$

والان فان الكمرتين (ذات المقطع المثلث وذات المقطع T)
لابد ان تتساوى مقاومتها للقص عند الطرفين

وعلى ذلك تكون المساحة التى تقاوم القص (فى المقطع المثلث)
$= \frac{ب \times ع}{٢}$

وتكون ايضا . . . . (T . . .) $= ث \times ع$

$\therefore$ ع سَ $= \frac{بع}{٢}$ $\therefore$ سَ $= \frac{ب}{٢}$

وعلى فرض ان مستوى المقطع يبقى مستويا بعد الانحناء فأنه
يكون عندنا فى شكل (٢٢) $\frac{سسَ}{ححَ} = \frac{س}{ح}$

ولنفرض أن سسَ ، ححَ يمثلان على التوالى التغيير فى الطول
(الانكماش والاستطالة) فى الخرصان والصلب

معلوم ايضا ان $\frac{\text{القوة على وحدة المساحة}}{\text{معامل المرونة}}$ = وحده الاستطالة

$$\therefore \frac{س\ \bar{س}}{ح\ \bar{ح}} = \frac{\dfrac{\text{وحده الضغط على وحده المساحه}}{\text{معامل المرونه للخرصان}}}{\dfrac{\text{وحده الشد على وحده المساحه}}{\text{معامل المرونه للصلب}}} = \frac{س}{ح}$$

وانفرض أن $ن_1$ = اكبر قيمة لقوة الضغط (على وحدة المساحة) للخرصان

$ف_1$ = ... الشد ......

$ن$ = ... الضغط ...... للصلب

$ف$ = ... الشد ....

$ى$ = معامل المرونه للصلب

$ى_1$ = ... للخرصان

$\frac{ى}{ى_1} = ن$

$$\therefore \frac{ن_1}{ى_1} \times \frac{ى}{ف} = \frac{ح}{س}$$

$$\therefore \frac{ن_1}{ف} = \frac{س}{ح \times \frac{ى}{ى}}$$

$$\therefore ف = \frac{ن}{1} \times ح \times \frac{ى}{ى_1} \times \frac{1}{س}$$

$$س = و - ح$$

$$\therefore \frac{ف}{ن_1} = \frac{ح \times س}{ى_1} \times \frac{1}{و - ح} \quad \therefore \frac{ن_1}{ف} = \frac{و - ح}{ح} \times \frac{ى_1}{ى} = \left(\frac{و}{ح} - 1\right) \frac{ى_1}{ى}$$

$$\therefore \frac{و}{ح} - 1 = \frac{ى}{ى_1} \times \frac{ن_1}{ف}$$

$$\therefore \frac{و}{ح} = 1 + \frac{ى}{ى_1} \times \frac{ن_1}{ف}$$

$$\therefore ح = \frac{و}{1 + \frac{ى}{ى_1} \times \frac{ن_1}{ف}} \qquad (٣٣)$$

مجموع الضغط ص = مساحة الجزء المظلل من شكل ٢١ مضروبا في اقصى ضغط تحمله الخرسانة

ص = ن/١ × ب/٤س { س٢ — ث٢ + ٢ س ث } (٢٤)

ب × ا = س = ص

أى أن الشد الكلى = الضغط الكلى

∴ ب × ا = له١ × ب/٤س { س٢ — ث٢ + ٢ س ث }

∴ ب/١ن = ب/٤ا س { س٢ — ث٢ + ٢ س ث }

ومن (٣٢) نجد

ى/ى١ × ح/س = ب/٤ا س { س٢ — ث٢ + ٢ س ث }

∴ ٤ ا ى/ى١ ح = ب { س٢ — ث٢ + ٢ س ث } (٣٥)

معادلة من الدرجة الثانية للمقدار س

واذا عرفنا ان ا و ى/ى١ ب ث أمكننا تعيين المحور لان ح = د — س والقيمة الموجبه للمقدار يعين موضع محور الخمول

لايجاد مركز الضغط

نتبع في ذلك نفس الطريقة في ايجاد مركز الثقل للجزء المظلل من المساحة تأخذ العزوم بالنسبة لمركز الخمول

س س/٢ × ٢/٣ س — ٢ { ب/٤ } ٢/٣ (س — ث)٣/٢ى = ل/١ × ب/٤س { س٢ ث٢ + ٢ س ث }

∴ ب/١٢س { ٤ س٣ — ٢ (س — ث)٢ } = ل/٢ × ب/٤س { س٢ — ث٢ + ٢ س ث }

$$ل_١ = \frac{١}{٣} \left\{ \frac{٤ س^٣ - ٢ (س - ث)^٣}{س^٢ - ث^٢ + ٢ س ث} \right\} \quad (٣٦)$$

ولنقارن الان قضيبي ٧ ـ ٨ جدول ٢ بقضيب ت بنفس التسليح والارتفاع والعرض الاعلا فالقضبان ٧ و ٨ جدول نمرة ٢ يعطيان متوسط ½ (٢٠٤٠ + ١٧٧٠) ك جراما أى ١٩٠٥ كيلو جراما وحيث ان التسليح وعزم المقاومة واحدة فى كلا الحالين

($ل_١$ + هـ) أى بعد مركز الصلب من مركز الضغط فى الخرسانة لا بد ان يكون نفس البعد ($ل_١$ + هـ) فى المقطع المثلثى للقضيب فى هذه الحال = ١٠ر٩٢ س م وباستعمال معادلة نمرة (٣٦) نجد

$$ل_١ = \frac{١}{٣} \left\{ \frac{٤ س^٣ - ٢ (س - ث)^٣}{س^٢ - ث^٢ + ٢ س ث} \right\} + هـ = ١٠ر٩٢ \text{ سم} \quad (١)$$

ولكن هـ = و − س = ٥ − س

$$\therefore \frac{١}{٣} \left\{ \frac{٤ س^٣ - ٢ (س - ث)^٣}{س^٢ - ث^٢ + ٢ س ث} \right\} + ١٢ر٨ \text{ سم} - س = ١٠ر٩٢ \text{ سم} \quad (١)$$

الضغط الكلى = الشد الكلى

مجموع الضغط القاطع فى القضيب المثلثى المقطع = { ٢٨١ر٢٥ × ٥ = ١٤٠٦ر٥ } = ١٢٧٥ × ٥ = ٦٣٧٥ ك جرام وباستعمال معادلة نمرة ٣٤ نجد

$$\frac{١٢٣٠ \times ٢٠ر٣}{٤ س} \left\{ س^٢ - ث^٢ + س ث \right\} = ١٢٧٥ \quad (ب)$$

$$\therefore س^٢ - ث^٢ + ٢ س ث = \frac{١٢٧٥}{١٢٣ \times ٢٠ر٣} ٤ س = ٢ر٠٤ \quad (هـ)$$

١٢٣ ك جراما = القوة القاطعة الخرسانة بنفس النسب من حيث التركيب والزمن المتخذ فى الخرسانة المستعملة للقضبان

من (١)

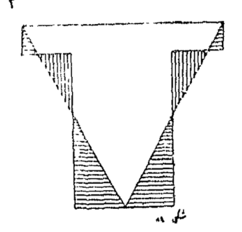
$$\tfrac{١}{٣}\left\{ \text{س}^{٣} - \frac{٢\,(\text{س} - \text{ث})^{٣}}{٤٫٠٢\,\text{س}} \right\} + ١٢٫٨ - \text{س} = ١٠٫٩٢ \qquad (\text{د})$$

$$\therefore ٤\,\text{س}^{٣} - ٢\,(\text{س} - \text{ث})^{٣} + ٥٫٧٨\,\text{س} - ١٢٫٦\,\text{س}^{٢} = ٢٫٦٧\,\text{س}$$

$$٤\,\text{س}^{٣} - ٢\,(\text{ث} - \text{ث})^{٣} + ٣٫١١\,\text{ث} - ١٢٫٦ = \text{صفر} \qquad (\text{هـ})$$

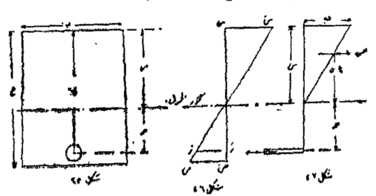
من هـ نجد

$$\text{ث} = \frac{٢\,\text{س} - \sqrt{٤\,\text{س}^{٢} - ٤\,(٤٫٠٢\,\text{س} - \text{س}^{٢})}}{٢}$$



شكل ٩٨

[illegible]



شكل ٩٥ شكل ٩٦ شكل ٩٧

$= س - \sqrt{٢ س^٢ - ٤٠٢ر٢ س}$

و بتعريض مقدرات بما يساويه فى معادلة (ﻫ)

$\therefore ٤ س^٣ - ٢ (٢ س^٢ - ٢٫٠٤ س)^{\frac{٣}{٢}} + ٣ر١١ س -$

$١٢ر٦ س^٢ =$ صفر

ولنضع مقادير تساويها ص

$وليكن ص = ٤ س^٣ - ٢ (٢ س^٢ - ٤٠٢ر٢ س)^{\frac{٣}{٢}} + ٣ر١١$

$س - ١٢ر٦ س^٢$

$\therefore$ س = ٢٢٣ر٦ سم تحقق المعادله

$\therefore$ س = ٢٢٣ر٦ — ٢٩٢ر٢ = ٥٣١ر٣ سم

ت $\therefore$ مساحة مقطع قضيب T = ٢١٨ر٢١١ سم^٢

واقرب وزن لهذا القضيب T = ١٣١ ك جراما

والقضيب المثلثى المقطع وبنفس القوة يزن ١١٢ ك جراما أى ٨٥٪ من وزن قضيب T وظاهر من شكل ٢٤ أنه باستعمال القضيب المثلثى المقطع تقل المساحة المظللة وبنفس الطريقة

(ا) قضيب مثلثى المقطع بسيخ قطره ٥ر٩ مم وعلى بعد ٧٩٩ر٥٠ مم من القاعده

لذلك تستعمل معادلات ا و ب ..

مساحة القضيب T المعادل وبنفس القوة تساوى ١٢ ر ١٩٦ سم^٢ ووزنه = ١٢١ك جراما مع أن وزن المثلثى المقطع = ١١٢ك جراما

(ب) كمر مثلثى القطاع به قضيب ٢٩ر١٤ مم على بعد ٧٧٩ر٥٠ من القاعدة وفى هذه الحالة تكون مساحة الكمر المكافىء ذو قطاع على شكل (T) ١٩٨و٧٠ سم

ووزنه ١٢٤ كيلو جراما وبمقارنة بالمقدار ١١٢ كيلو جراما فى حالة الكمر ذو القطاع المثلثى نجد أن هناك وفرا قيمته ١٢ كيلو جراما
من هذا نجد أن هناك وفرا فى اختيار كمرات مثلثية القطاع فوق كمرات ذات قطاع على شكل T
المقارنة بين الكمرات المثلثية القطاع والكمرات المستطيلة القطاع
لايجاد العرض لكمر مستطيل القطاع يساوى فى العمق والقوه كمر مثلثى القطاع .
تحليل الكمر المستطيل القطاع شكل (١٥) .
مفروضات : —
(١) ان الصلب يتحمل جميع قوة الشد
(٢) أن الجهد متناسب مع مقدار التحريف فى الخرصان
(٣) أن الجهد ثابت فى التسليح
نجد من شكل ٢٦ أن

$$\frac{\text{س س}_1}{\text{س}} = \frac{\text{ز ز}_1}{\text{ح}}$$

ولكن س س ١ هو مقدار التحريف فى الخرصان
و زز١ هو مقدار التحريف فى الصلب
ولكن ∴ التحريف = $\frac{\text{الجهد}}{\text{معامل المرونة}}$

نجد $\frac{\text{ت}_1}{\text{س}_1} = \text{س} = \frac{\text{ت}}{\text{ى}} : \text{ح}$

∴ $\frac{\text{ت}_1}{\text{ى}_1} \times \frac{\text{ى}}{\text{ت}} = \frac{\text{س}}{\text{ح}}$

نفرض أن $\frac{\text{ى}_1}{\text{ى}} = \text{ن}$

∴ $\frac{\text{ت}_1}{\text{ت}} \times \text{ن} = \frac{\text{س}}{\ }$

∴ س = ح ىه × $\frac{١ ن}{ن}$ (١)

واكن س = و — ح = ح ىه × $\frac{١ ن}{ن}$

∴ ح = $\frac{و}{١ + ىه \frac{١ ن}{ن}}$ (٢)

نجد من شكل (٢٧)

أن جميع الضغط فى الخرصان = ص = جميع الشد فى الصلب

ص = $\frac{ن}{١} \times \frac{ب س}{٢}$

∴ $\frac{ن}{١} \times \frac{ب س}{٢}$ = ن × ا (٣)

ولكن $\frac{١ ن}{ن} = \frac{س}{ىه ح}$

∴ $\frac{س}{ىه ح} = \frac{١ ٢}{ب س}$

∴ ح = و — س

س — ىه (و — س) $\frac{١ ٢}{ب س}$

∴ ب $س^{٢}$ = ىه (و — س) ١ ٢

∴ ب $س^{٢}$ — ىه و × ١ ٢ + ىه س × ١ ٢ = ٠ (٤)

∴ س = $\frac{— ٢ ىه ١ + \sqrt{٤ ىه^{٢} ١^{٢} + ٤ ب ىه و × ٢}}{ب ٢}$

= $\frac{ىه ١}{ب}$ $\left\{ \sqrt{١ + \frac{٢ ب و}{ىه ١}} — ١ \right\}$ ٥

لايجاد عزم المقاومة

عزم المقاومة = ص ($\frac{٢}{٣}$ س + ح) بالنسبة لمركز الشد

وايضا عم = س ($\frac{٢}{٣}$ س = ح) « « الضغط

ف ص = $\frac{ب س}{٢}$ — $\frac{ن}{١}$

∴ عزم المقاومة = ن $\frac{ب س}{٢}$ ($\frac{٢}{٣}$ س + ح) « (٦)

وايضا « = ن ا ($\frac{٢}{٣}$ س + ح) « (٧)

والان تاخذ ثلاث اعتاب ذات قطاع مثلثى ومختلفى التسليح
ونوجد الاعتاب المماثلة ذات القطاع المستطيلى ولها نفس التسليح
والعمق والقوة كالمثلثية القطع

(١) ولنأخذ عتبا ذا قطاع مثلثى بقضيب قطره ٩ر٠ مم على
مسافة ٥٠و٧٩٩ مم من الحافة السفلى وقد وجدنا سابقا لهذا العتب
ان المسافة بين مركز الصلب ومركز الضغط هى ١١و٦٤ سم وحينئذ

٢/٣ س + حـ = ١١ر٦٤

حـ = ٧ر٣٢ — س

١/٣ س ١ر٠٦

∴ س = ٣ر١٨ سم

ص = ى ب س/٢ (٨)

= ى × ا

= ١٩ × ٢٢٤٠ × ٠و٧١ سم^{٢}

= ٢١٣٠و٠٠ ك جرام

حيث أن ٣٠٠٠ ك جراما حمل التسليح على السنتيمتر المربع للصلب
٠و٧١ سم^{٢} هى مساحة قضيب قطره ٥ر٩ مم
بفرض ى = ١٢٣ ك جراما على السنتيمتر المربع كما وجدنا فى
كتل من نفس مادة الاعتاب تدريجيا وعمرا

∴ ب = (٢١٣٠ × ٢) / (١٢٣ × ٣ر١٨) = ١١ ر ٤ سم

ومن (٨) تكون مساحة قطاع العتب المستطيل الشكل ١١ر٤ ×
١٧و٧٨ = ٠٠ر٠٣ سم^{٢}

م ...... المثلثى . . = ١٦ر١٠ × ١٧٫٧٨ = ١٨٠ س م^{2}
وحينئذ فلدينا وفر قدره ٢٣٫٠ س م^{2} وفى عتب طوله ٢٫٤٣٨ مترا يكون لدينا وفر قدره ١٤ ك جراما ثانيا لنا خذ عتبا بقضيب ١٤٫٢٩ مم قطر لكى نوجد عتبا مستطيلا مكافئا له فى المقارنة

$\frac{2}{3}$ س + ح = ١١٫٠٥ س م

ح = ٦٢٫٧ — س

$\frac{1}{3}$ س = ١٫٦٥

س = ٤٫٩٥ س م

ص = س = ١٫٦١ × ٣٠٠٠ = $\frac{١٢٣ × ٤٫٩٥}{٢}$ = ٤٨٣٠ ك جرام

ن ب = $\frac{٤٨٣٠ × ٢}{١٢٣ × ٤٫٩٥}$ = ١٥٫٨ س م

ومساحة قطاع هذا العتب = ١٥٫٨ × ١٧٫٧٨ = ٢٨٢ س م^{2}

« « عتب مثلى = ١٨٠ س م^{2}

فلدينا وفر قدره

ويكون وزن العتب المستطيل = ١٧٣ ك جراما وبمقارنة هذا الوزن بالوزن ١٤٢ كيلو جراما (وهو وزن عتب ذى قطاع مثلثى فكافىء له) يكون هناك وفر قدره ٦١ كيلو جراما

ولتأخذ مره ثالثة عنا بقضيب قطره ١٢٫٧ س م على مسافة ٥٠٫٧٩٩ مم من الاسفل

$\frac{2}{3}$ س + ح = ١١٫٤ س م . ·. ح = ١٢٫٧ ..... س

$\frac{1}{3}$ س — ١٫٣ . ·. س = ٣٫٩ س م

$$\text{ب} = \frac{\text{٢ص}}{\text{ن س}} = \frac{\text{٢س}}{\text{ن١ س}} = \frac{\text{١٢٦٥} \times \text{٣٠٠٠}}{\text{١٢٢م} \times \text{٣ر٩}} = \text{٩و١٥ سم}$$

وعليه فالوفر قدره ٥ر٥٧ كيلو جراما باستعمال عتبات ذات قطاع مثلثى

وتحتاج الكمرة الى ٣ر١٦ كيلو جراما من الاسمنت

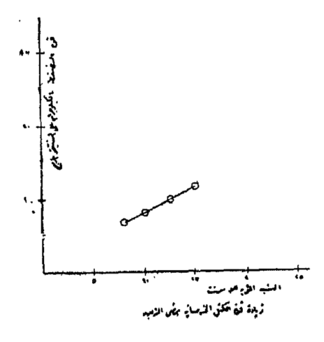
و ٣ر٣١ « « الامل

٥ر٨٥ « « الزلط

١ر٩ « « الماء

والواجب فى عمل الخرصانه المسلحة أن يعمل المخلوط بنسب الوزن لا بنسب الاحجام

« الاعمـــــدة »



يبين الجدول الانى (١) قوة المدة ذات مقطع مثلثى الشكل طول اضلاعه ٣ر ٢٠ × ٣ ر ٢٠ × ٣ ر ٢٠ بنسبة ١ : ٢ : ٥

طول العمود	القوة	نسبة الطول الاقل من ابعاد القطاع
٧٨٠٧٤ س م	١٥٤٠٠ ك جرام	٤
١١١٠٧٦ سم	١٣٧٥٠ ك جرام	٦ $\frac{٢}{٧}$
١ر١٣٢ س م	١٢٠٠٠ ك جرام	٧ $\frac{٢}{٧}$

والنتيجة من الجدول السابق هى انه كلما كبرت نسبة طول العمود الى أقل بعد من المقطع قلت قوة ذلك العمود والاعمدة القصيرة التى لاتتجاوز نسبته طولها الى اقل بعد من ابعاد مقطعها ٦ مرات يمكن اقامتها من الخرصان العادى على شرط ان يكون الثقل مركزى

واما الاعمدة التى تزيد فيها نسبته الطول عما تقدم يجب تسليحها ليسهل بناؤها ولكميتها ان تقاوم ما عساه يحدث معه الاثقال غير المركزية والصدمات الفجائية

والتسليح ضرورى فى حالة الاعمدة التى تنقل من جهة لوضعها فى جهة اخرى وذلك تجنب اى شدة فى الخرصان لضغط تلك القوة فيه

والخرصان ولو انه يقاوم الضغط الا أنه = $\frac{١}{٤٠}$ من قوة مقاومة الصلب وعلى ذلك فقدار حجم عمود خرصان عادى يحمل ثقلا يحمله عمود صلب متساوى الطول هو = ٤٠ مرة صحيحة الصلب ولكن

من جهة اخرى تكاليف حجم مخصوص من الخرصانة = ١/٥ من تكاليف ذلك الحجم من الصلب وبناء على ذلك فنفقة عمود من الخرصان الى نفقة عمود من الصلب يحمل نفس الحمل هى نسبة ٤ : ٥

ولا يخفى علينا ان فى بعض المبانى يجب استخدام اعمدة تشغل فراغا صغيرا حرصا من ضياعا مسافة كبيرة تكون ذات قيمة فيمكن اذن استخدام اعمدة الصلب أو الخرصان المسلح

دلت التجارب التى اجربتها سنة ١٩١١ — ١٩١٢ أنه كلما زادت نسبة الاسمنت فى الخرصان زادت قوة للضغط — والجدول الاتى بين نتائج التجارب

نسبة الاسمنت	مقاومة الضغط بعد ١٤٠ يوما على السنتيمتر المربع
٨ ٪	٨ر٦٢
١٠ ٪	٥ر٧٩
١٢½ ٪	٠ر٨١
١٥ ٪	١١٥٠.٥

وهذا يدل على ان زيادة نسبة الاسمنت واسطة فعالة فى تقوية الاعمدة وذلك يسمح لتقليل مقطعها

« حساب الاعمدة »

نفرض ح ك ج الحمل على العمود

$ل_١$ = طول العمود

$ا_١$ = مساحة الخرصانه

$ا_٢$ = المساحه الكلية للعمود

ا = المساحة الكلية للصلب

$ب_١$ = وحدة الضغط فى الخرصانة

ب = « « « الصلب

$\frac{ى}{ى_١}$ = ر نسبة $\frac{\text{معامل المرونة للصلب}}{\text{معامل المرونة للخرصانه}}$

$\frac{ا}{ا_٢} \times ١٠٠$ = ﻫ نسبة الصلب لمساحة العمود

$ب_٢$ = وحدة الحمل على العمود

ونفرض ايضا التماسك بين الصلب والخرصانة كاف لمنع الانزلاق

∴ الصلب والخرصانه يعملان معاً و يكون لهما انزلاق واحد

نفرض ل = مقدار النقص فى الطول

∴ $\frac{ل}{ل_١}$ يكون الانحراف

$ب_١ = ى_١ \times \frac{ل}{ل_١}$

$ب = ى \times \frac{ل}{ل_١}$

$\frac{ب}{ب_١} = \frac{ى}{ى_١} \times \frac{ل}{ل_١} \times \frac{ل_١}{ل} = ر$

∴ $ب = ب_١ ر$ ...... (١)

وعلى ذلك اذا كان (ع) هو حمل الامن الذى يحمله العمود

∴ $ع = ا_١ \times ب_١ + ر ب_١ ا$

$= ب_١ (ا_١ + ر ا)$ ..... (ب)

وبوضع ا $=$ ه ا$_1$

∴ ع $=$ ن$_1$ (ا$_1$ + ﻧ ه ا$_2$)

و ن$_2$ $=$ وحدة الضغط على العمود

$= \frac{ع}{ا_2} =$ ن$_1$ $\frac{(ا_1 + ﻧ ه ا_2)}{ا_2}$

ولكن ا$_2$ $=$ ا + ا$_1$

∴ ن$_2$ $=$ ن$_1$ $\left\{ \frac{ا_2 - ا}{ا_2} + ﻧ ه \right\}$

$=$ ن$_1$ (ا — ه^2 + ﻧ ه ه)

$=$ [١ + ه (ﻧ — ١)] ..... (ﺣ)

ولايجاد وحدة التماسك بين الصلب والخرصان

ليكن ع$_1$ الحمل الذى يحمله الصلب و ع$_2$ الحمل الذى تحمله الخرصانه

∴ الفرق بين ع$_2$ و ع$_1$ هو الذى يحمله التماسك بين الصلب والخرصان

لتكن ا$_3$ سطح التماسك

∴ وحدة التماسك $= \frac{ع_2 - ع_1}{ا_3}$

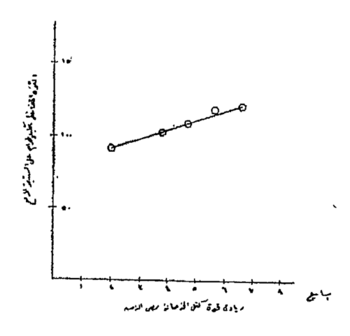
والمساحة المؤثرة المستعملة فى تقدير حمل الامن الذى يحمله العمود تكون عادة أقل من المساحة كلها ليكون هناك سمك معلوم قدره ٤ س م تقريبا وقاية من النار لان الخرصانه فى هذا العمق إذا

كانت فى نار شديدة ربما تتأثر بالحرارة وتضيع قوتها ويمكن أن يسمح بسمك أقل من ٤ س م اذا كانت محتويات البناء غير قابلة للالتهاب

وقد عملت كتل من مخلوط بنسبة ١:٢:٥ ومن قوام ربط لايجاد زيادة القوة مع تعاقب الزمن

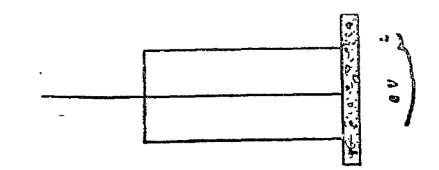
والمقادير المتحصل عليها من هذه التجارب استعملتها فى حساب الاعمدة و الاعتاب

كان مقاس بعض الكتل ٥ر١٢ سم × ٥ر١٢سم × ١٥ سم والبعض الآخر على شكل اسطوانه قطرها ٧ر١٣س م وارتفاعها ١٥ س م



تجارب التماسك

الاسطوانات التى قطرها ١٥س م وطولها ٣٠س م ملئت بالخرصان بنسبة ١:٢:٥ وفى وسطها سيخ قطره ٠٥ر١٩ مم من منتصفها كما هو مبين بالشكل :

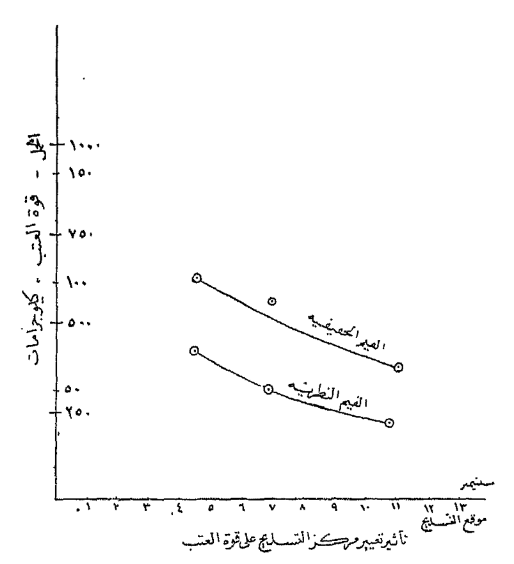


ش ٥٧

وقد وجدت مقاومة التماسك بالنسبة لعمر العمود وكان المركب رطب القوام ونتائج التجارب مدونة بالجدول الآتى : —

العمر	قطر السيخ	مقطع السيخ	الطول المفروز	الثقل	وحدة الشد على السيخ	نهاية المرونة للصلب	شدة التماسك	مقاومة الضغط ذات العمر الواحد
١٥ يوم	١٩٫٠٥ مم	٢٫٨٤ سم^{٢}	٣٠٫٥ س م	٤٥٣٠ كجم	١٧٠٠ كجم/سم^{٢}	٢٥٣٠ كجم/سم^{٢}	٢٥٫٣ كجم/سم^{٢}	٩٢٫٠ كجم/سم^{٢}
٣٠ «	١٩٫٠٥ «	٢٫٨٤ «	٣٠٫٥ «	٦٥١٠ «	١٩٧٠ «	٢٥٣٠ «	٣١٫٠ «	١٣٠٫٠ «
٤٥ «	١٩٫٠٥ «	٢٫٨٤ «	٣٠٫٥ «	٥٩٢٠ «	٢٠٩٠ «	٢٥٣٠ «	٣٢٫٧ «	١١٠٫٥ «
٦٠ «	١٩٫٠٥ «	٢٫٨٤ «	٣٠٫٥ «	٦٩٠٠ «	٢٤٠٠ «	٢٥٣٠ «	٣٧٫٦ «	١٢٤٫٠ «

ومن هذا الجدول نرى أن وحدة الشد على السيخ تعادل $\frac{٥}{٦}$ الشد عند نهاية المرونة قبل أن يضيع التماسك الموجود بين الصلب والخارصان



تأثير تغيير مركز التسليح على قوة العتب

العمر	المقاومة للضغط ك جرام على السنتيمتر المربع	ملاحظات
اسبوعان	٩٢ر٧	متوسط اربع كتل
٣ اسابيع	٩٨ر٥	» »
٤ »	١٠٢ر٥	» »
٥ »	١٠٨ر٠	» »
٦ »	١١٧ر٥	» »
٧ »	١٢١ر٠	» »
٨ »	١٢٤ر٠	» »

اى ان المقاومه للضغط تزداد مع الزمن لحد معين

الاعمدة القصيرة الخالية من التسليح

هـذه الاعمدة ثلاثية المقطع ٢٠ر٣ × ٢٠ر٣ × ٢٠ر٣ سهم طولها ٧٠ سهم وعملت بنسبة ١ : ٢ : ٥ من الخارصان . وقد حسبت مقاومتها عند اعمار مختلفه والعمود القصير يزن ٣٠ك جراماً

نمرة العمود	العمـر	الاثقال بالكيلو جرام	وحدة الاثقال ك جرام على السنتيمتر المربع	المقاومة الضاغطة للكتل ك جرام على السنتيمتر المربع	ملاحظـات
١	٦٠ يوماً	١٦ر٤٠٠	٩١ر٠	١٢٤ر٠	
٢	« «	١١ر٣٠٠	٦٣ر٣٠	١٢٤ر٠	اقل من المعتاد
٣	٤٥ «	١٤ر٤٥٠	٨٠ر٠٠		
٤	« «	١٤ر٢٥٠	٧٨ر٢٠	١١٧ر٠	
٥	٣٠ «	١٣ر٤٥٠	٧٥ر٠٠		
٦	« «	١٣ر٠٠٠	٧٢ر٣٠	١٠٢ر٥	
٧	١٥ «	٨ر٥٥٠	٤٧ر٣٠		
٨	« «	٩ر٧٠٠	٥٣ر٤٠	٩٣ر٢	

كل هذه الاعمده كسرت عند الطرف الاعلى عند ما اجريت عليها التجارب واخذت الشكل الآتي:

حساب قوة الأعمدة

عمود طوله ٢٫٤٤ متراً مقطعه مثلث متساوى الاضلاع ضلعه ٢٠٫٣ سم وضع داخله قضيب قطره ٨ر٣١مم بحيث يقع فى مركز ثقله سبق وجدنا ان ىه ٢ = ىه ١ [١ + ه (ن — ١)] ..
(جـ) كما ايضاً وجدنا سابقاً ىه ١ = وحده الضغط للخارصان وقيمتها ١٢٣ ك جرام سهم٢ وهذه القيمة مأخوذة من التجارب
واذا فرضنا أن الصلب والخارصان يعملان معاً حتى يتكسر الخارصان

∴ ىه = ن ىه ١ كما وجدنا سابقاً

فاذا كان ىه = ١٥ ن ٤ ١ = ١٢٣ ∴ ن = ١٥ ١٢٣/١٠٠٠ = ١٫٨٥ طناً على السنتيمتر المربع حتى لو كانت ىه = ٢٠

فان ن = ٢٠ × ١٢٣/١٠٠٠ ٢٫٤٦٠ طناً على السنتيمتر المربع وكلا القيمتين تبين انه اذا انكسر الخارصان فان الصلب لم يضغط حتى لغاية حمل التسليم فلكى نحصل على حمل الامن لهذا العمود فنستعمل لمعادلة (ب)

ع = ٢٤٫٦ [١٨٠٫٦٣٨ — ٧٫٩١٥ + ٧٫٩١٥ ن]

وحينما تكون ن = ١٥

∴ ع = ٧٣٠٠ ك جرام

للحصول على حمل الكسر

قد تحصلت من التجارب ان الحمل القاطع يساوى ١١٩٠٠ ك ج وذلك لعمود طوله ١٣٠ سم وقطعه مثلث متساوى الاضلاع طول

ضلعه ٣و٢٠ س م بنسبة ١ : ٢ : ٥ بعد ما مكث شهرين

واذا اجرينا التجربة لعمود آخر مثله تماماً ويختلف عنه فى الطول حيث يبلغ ٧٠ س م فنجد ان الحمل يساوى ١٦٣٠٠ ك جرام وهذا يبين ان نسبة الحمل القاطع لعمود طوله الضعف هى $\frac{١١٩٠٠}{١٦٣٠٠}$ = ٧٣ر:

∴ الحمل القاطع لعمود طوله ٢٤٠ سهم تساوى تقريباً ١١٩٠٠ × ٧٣ر و = ٨٧٠٠ ك جرام

∴ وحدة الحمل القاطع $\frac{٨٧٠٠}{١٨٠٦٣٨}$ = ٤٨٣٠

فللحصول على الحمل الذى يكسر هذه الاعمدة تستعمل س =

اذا العمود الذى فى وسطه قضيب قطره ٨ ر ٣١ سهم يتكسر على ٧٣٠٠ × ٢ = ١٤٦٠٠ ك جرام

ح = ٣ ر ٤٨ (١٨٠٦٦٤ — ١٦٢٦٥ + ١٥ × ١٦٢٦٥)

|| ٩٧٥٠ ك ج وبهذه الطريقة يمكننا معرفة قوة تحمل الاعمدة الاخرى

والاعمدة عملت من مخلوط مركب بنسبة ١ : ٢ : ٥ من الخارصان وتختبر بعد مضى شهرين وتدون النتائج فى جدول (٩)

المواد التى تلزم لعمل عمود طوله ٢٤٠ س م ومقطعة مثلث متساوى الاضلاع طول ضلعه ٣ ، ٢٠ س م الخارصين بنسبة ١ : ٢ : ٥ فان القدم المكعب من الخارصان يلزمه

$\frac{١،٣٢}{٢٧}$ براميل سمنت و $\frac{٣٧}{٢٧}$ ، ياردات مكعبة من الرمل و $\frac{٩٣}{٢٧}$، ياردات مكعبة من الاحجار العمود الواحد يلزمه

$\frac{١،٣٢}{٢٧}$ × ١،٥٦ = ٠٧٦ ، براميل اسمنت

∴ $\frac{٣٧}{٢٧}$ × ٥٦ ، ٢١٤١ و. ياردات مكعبة من الرمل

مثال آخر لعمود فى داخله قضيب قطره ٤ ، ٢٥ م م

الحل : نستعمل المعادلة (ب)

ع = ن { ا × نه ا } = ٤٨ر٣ { (٦٤ ، ١٨٠ ٥٠ ، ٥)

+ ١٥ × ٥٠ ، ٥٥ = ١٢٣٥٠ ٥ك جرام

مثال آخر عمود فى داخله قضيب قطره ٠٥ ، ١٩ مم

∴ ا = ٨٥ ، ٢ س م مربع

= ٤٨،٣ { ٦٤ ،١٨٠ — ٨٥، ٢ + ١٥ × ٨٥ ، ٢ }

= ١٠٩٠٠ ٥ جرام

مثال آخر عمود فى داخله قضيب قطره ٣ ، ١٤ م م عند

مركز الثقل

ا = ٦١ ، ١ سم مربع

ع = ٣ ، ٤٨ { ٦٤، ٨٠ — ١ر٦١١ + ١٥ × ١،٦ } = ٩٥٥٠

٥ جرام

والعمود الواحد يحتاج الى ٢ ، ١٣ ٥ ك جرام اسمنت

٢٤ ٥ ك جرام رمل

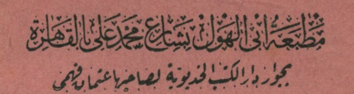
٦٩ ٥ ك جرام زلط

« والجدول الاتى عبارة عن اعمدة عملت واختبرت »

الجدول العاشر

النمرة	التسليح	القيمة المحسوبة للحمل المأمون	القيمة المحسوبة للحمل عند الكسر	النسبة المئوية	الحمل الحقيقى عند أول شق	المقاومة الحقيقية للعمود	المتوسط
		ك. جرام	ك. جرام		ك. جرام	ك. جرام	
١	غير مسلح	٤٤٥٠	١٧٧٥٠	خالى		١٦٣٠٠	١٣٨٥٠
٢	« «	٤٤٥٠	١٧٧٥٠	«		١١٤٠٠	
٣	بسيخ قطره ٣١ر٧٥	٧١٥٠	١٤٣٠٠	٤ر٣٨٪	١٠١٥٠	١٧٨٠٠	١٦٨٠٠
٤	بسيخ قطره ٣١ر٧٥	٧١٥٠	١٤٣٠٠	٤ر٣٨٪	١٤٩٠٠	١٥٩٠٠	
٥	بثلاثة اسياخ بقطر ١٩ر٠٥	٧٣٥٠	١٤٨٠٠	٥ر٧٤٪	١٠١٥٠	١٣٤٥٠	١٥٠٢٥
٦	« « «	٧٣٥٠	١٤٨٠٠	٥ر٧٤٪	١٥٢٥٠	١٦٦٠٠	
٧	بسيخ واحد قطر ٢٥ر٤	٧٣٥٠	١٢٣٠٠	٢ر٨١٪	٥٧٠٠	١٣٣٠٠	١٢٦٠٠
٨	« « «	٦١٥٠	١٢٣٠٠	٢ر٨١٪	٨٨٠٠	١١٩٠٠	
٩	بثلاثه اسياخ قطر ١٤ر٢٨	٦١٠٠	١٢٢٠٠	٢ر٦٧٪	١٥٢٠٠	٢٠٠٠٠	٢٠٤٠٠
١٠	« « «	٦١٠٠	١٢٢٠٠	٢ر٦٧٪	١٥٢٠٠	٢٠٨٠٠	
١١	بسيخ قطره ١٩ر٠٥	٥٩٠٠	١٠٨٥٠	١ر٥٨٪	١٢٢٠٠	١٧٦٥٠	٢١٩٧٥
١٢	« «	٥٩٠٠	١٠٨٥٠	١ر٥٨٪	١٧٢٠٠	٢٦٣٠٠	
١٣	بثلاثة اسياخ قطر ١١ر١١٢	٥٩١٠	١٠٩٠٠	١ر٦٢٪	٢٣٦٠٠	٢٤٠٠٠	١٢٨٥٠
١٤	« « «	٥٩١٠	١٠٩٠٠	١ر٦٢٪	١٥٢٠٠	١٩٧٠٠	
١٥	بسيخ واحد قطر ١٢ر٧	٤٨٦٠	٩٧٠٠	٧١ر٪	١٠١٥٠	١٩٥٠٠	٢٠٤٠٠
١٦	« « «	٤٨٦٠	٩٧٠٠	٧١ر٪	١٠١٥٠	٢١٣٠٠	
١٧	بثلاثة اسياخ قطر ٩ر٥٢	٥١٥٠	١٠٧٥٠	١ر١٨٢٪	٨١٠٠	٩٤٠٠	٢٢٣٠٠
١٨	« « «	٥١٥٠	١٠٧٥٠	١ر١٨٢٪	١٥٢٥٠	١٥٢٠٠	

وهذه الاعمدة أثبت وأقوى من اعمدة مربعة المقطع ومساوية لها فى المساحة ونسبة التسليح


مطبعة أبي الهول بشارع محمد علي بالقاهرة
بجوار دار الكتب الخديوية لصاحبها عثمان فهمي